

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geologije

**PROCJENA ISKORISTIVOSTI PRILIKOM EKSPLOATACIJE TANKIH PLOČA NA
PRIMJERU LIPOVEČKOG KAMENA**

Diplomski rad

Dražen Pinjuh
G 219

Zagreb, 2017.

PROCJENA ISKORISTIVOSTI PRILIKOM EKSPLOATACIJE TANKIH PLOČA NA PRIMJERU
LIPOVEČKOG KAMENA

DRAŽEN PINJUH

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Na primjeru kamenoloma Gunčić, u vlasništvu obitelji Gunčić, u kojem se eksploatira prirodni kamen tržišnog naziva Lipovečki vapnenac prikazan je proračun iskoristivosti (cjelovitosti) stijenske mase. Procijenjena je iskoristivost stijenske mase izračunavanjem linearnog, površinskog i volumnog koeficijenta iskoristivosti. Koeficijenti uvelike ovisi o diskontinuitetima (pukotinama i slojevitosti) u ležištu, njihovim sustavima i razmacima. Ležište je slojevito s debljinama slojeva od 3 do 20 cm što utječe da debljine ploča koje se eksploatiraju ovise o debljini slojeva. Prema izračunima koeficijentata iskoristivosti, može se zaključiti kako se veliki dio kamenoloma Gunčić može u potpunosti iskoristiti u obliku ploča s obzirom da je koeficijent volumne iskoristivosti iznosi 61 %. Osim iskoristivosti prikazane su karakteristike samog ležišta te litološki sastav i mineraloško-petrografska svojstva kamena.

Ključne riječi: Kamenolom Gunčić, Lipovečki vapnenac, svojstva kamena, mineraloško-petrografska svojstva, koeficijent iskoristivosti

Diplomski rad sadrži: 57 stranica, 7 tablica, 29 slika i 42 referenca

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Ana Maričić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Ana Maričić
Prof.dr.sc. Dunja Aljinović
Doc.dr.sc Mario Klanfar

Datum obrane: 21. srpnja 2017.

EVALUATION OF UTILIZATION DURING EXPLOITATION OF THIN PLATES IN THE CASE OF LIPOVEC STONE

DRAŽEN PINJUH

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The calculation of the utilization (integrity) of the rock mass in the Gunčić quarry, in which the natural stone with market name Lipovec limestone is exploited, is shown. Assessment of the utilization of the rock mass by calculating the linear, surface and volume utilization coefficient was done. The coefficients largely depend on discontinuities (cracks and beds) in the deposit, their systems and their distance. The deposit is layered with layer thicknesses from 3 to 20 cm, which causes the exploited slabs to depend on the thickness of the layers. According to calculations of the coefficient of utilization, it can be concluded that a large part of the Gunčić quarry can be fully utilized because the volume utilization coefficient is 61 %. In addition to the utilization, the characteristics of the deposit and the lithological composition, together with mineralogical-petrographic properties of the stone are shown.

Keywords: Gunčić quarry, Lipovec limestone, stone properties, mineralogical and petrographic properties, utilization coefficient

Thesis contains: 57 pages, 7 tables, 29 figures and 42 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,

Supervisor: Assistant Professor Ana Maričić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Ana Maričić, PhD

Full professor Dunja Aljinović

Assistant Professor Mario Klanfar, PhD

Date of defense: July 21, 2017

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Geografske značajke šireg i užeg područja istraživanja.....	3
2.1. Geografija šireg područja.....	3
2.2. Geografski položaj kamenoloma Guncić.....	4
3. Geološke značajke šireg i užeg područja istraživanja.....	6
3.1. Geologija šireg područja.....	6
3.2. Geološka građa ležišta u kojem se eksploatira Lipovečki vapnenac.....	9
3.3. Osnovne karakteristike Lipovečkog vapnenca.....	10
4. Cjelovitost ili iskoristivost ležišta prirodnog kamena.....	14
4.1. Karakteristike ležišta koje utječu na cjelovitost ili iskoristivost stijenske.....	14
4.2. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase.....	16
4.3. Metodologija eksploatacije u ležištu i utjecaj na iskoristivost.....	19
5. Metodologija istraživanja.....	21
5.1. Terenski rad.....	21
5.2. Laboratorijski i kabinetski rad.....	21
6. Rezultati istraživanja.....	23
6.1. Mineraloško-petrografska analiza.....	23
6.1.1. Uzorak iz sloja 3.....	23
6.1.2. Uzorak iz sloja 5.....	25
6.1.3. Uzorak iz sloja 6.....	26
6.1.4. Uzorak iz sloja 9.....	26
6.1.5. Uzorak iz sloja 10.....	27
6.1.6. Uzorak iz sloja 11.....	28
6.1.7. Uzorak iz sloja 13.....	29
6.1.8. Uzorak iz sloja 15.....	30
6.1.9. Uzorak iz sloja 17.....	32
6.1.10. Uzorak iz sloja 23.....	33

6.2. Izračun iskoristivosti ili cjelovitosti stijenske mase na primjeru ležišta.....	34
6.2.1. Linearni koeficijent cjelovitosti	35
6.2.2. Površinski koeficijent cjelovitosti	38
6.2.3. Volumni koeficijent cjelovitosti.....	42
7. Rasprava rezultata	44
7.1 Mineraloško-petrografska svojstva Lipovečkog vapnenca u.....	44
7.1.1 Madston.....	45
7.1.2. Vekston.....	46
7.1.3 Pekston	47
7.1. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase i kvalitete Lipovečkog.....	49
7.2.1. Linearni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase.....	49
7.2.2. Površinski koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase.....	53
7.2.3. Volumni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase	54
8. Zaključak.....	55
9. Literatura	56

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. Fizičko-mehanička svojstva kamena u kamenolomima Gunčić i	11
Tablica 3.2. Rezultati kemijske analize (preuzeto iz elaborata)	12
Tablica 3.3. Rezultati kemijske analize kam. 230/79 (preuzeto iz elaborata TOMAŠIĆ i KUKINA, 2004.)	12
Tablica 4.1. Cjenovni razred ploča ovisno o debljini (preuzeto iz elaborata)	19
Tablica 6.1. Izmjerene debljine slojeva u slijedu debelom 3 m.....	36
Tablica 6.2. Rezultati mjerenja dužine ploče.....	37
Tablica 6.3. Rezultati terenskih mjerenja za širinu ploča.	38

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Geografski položaj i podjela Žumberačkog gorja, te pozicija kamenoloma (bijela zvjezdica).....	3
(https://www.google.hr/maps/)	3
Slika 2.2. Kamenolom Gunčić.	4
Slika 2.3. Geografski položaj kamenoloma Gunčić označen sa zelenom zvjezdicom.	5
(https://www.google.hr/maps/).....	5
Slika 3.1. Osnovna geološka karta 1:100 000, list Zagreb, s označenom lokacijom	7
(preuzeto iz OGK, list Zagreb, L 38-80; ŠIKIĆ et al., 1979).....	7

Slika 3.2. Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1: 100 000, list Zagreb.	8
(ŠIKIĆ et al., 1979)	8
Slika 3.3. Lipovečki kamen na terasi Oliver Twist puba u Zagrebu.	13
(https://goo.gl/images/SbJTP5)	13
Slika 4.1. Kartezijev koordinatni sustav	18
(https://goo.gl/images/2xtmFb).	18
Slika 4.2. Paleta s pločama Lipovečkog vapnenca.	20
Slika 6.1. Uzorak tamno sive boje sa kalcitnim žilama (gore) i ljuštura puža te intraklasti vidljivi na mikroskopskom prikazu (dolje).	24
Slika 6.2. Uzorak tamnosive boje sa nejasnim površinskim trošenjem (gore), te mikroskopski uzorak raznolikog sastava, mikritnog i sparitnog veziva, s brojnim intraklastima i alokemima te pukotina (dolje).	25
Slika 6.3. Uzorak iz sloja 6 sa vidljivom žilom ispunjenom kalcitom (gore) i	26
Slika 6.4. Uzorak iz sloja 9 bogat kalcitom. Strelica na uzorku prikazuje orijentaciju	27
Slika 6.5. Uzorak iz sloja 10 sa tragovima trošenja i kalcitnim žilama (gore), te	28
Slika 6.6. Veći broj djelova uzorka iz sloja 11 (gore), te kalcisfere i bioturbacije u mikritu ..	29
Slika 6.7. Uzorak iz sloja 13 makroskopski	30
Slika 6.8. Nešto veće žile kalcita vidljive na brušenom dijelu uzorka (gore), madston sa	31
Slika 6.9. Uzorak iz sloja 17 s kalcitnim žilama i znakovima trošenja (gore),	32
Slika 6.10. Uzorak iz sloja 23 sa trošnom površinom (gore) i mikrit vidljiv mikroskopskim pregledom uzorka	33
Slika 6.11. Otkopna fronta upotrijebljena u svrhe izračuna osi „z“	34
Slika 6.12. Skica otkopne fronte u mjerilu 1:50. Plavo obojani slojevi su slojevi iz kojih	35
Slika 6.13. Površinski dio kamenoloma korišten za izračun osi „x“ i „y“	39
Slika 6.14. Tlocrt otvorene gornje slojne plohe na površini izdanka (ploče su površina	40
Slika 7.1. Otkopna fronta sa oznakama slojeva i njihovih imena (M - madston, V - vekston i P - pekston).	44
Slika 7.2. Primjeri madstona iz slojeva 15 i 23.	46
Slika 7.3. Primjeri vekstona iz slojeva 5,6,9,10,11, 13 i 17.	47
Slika 7.4. Primjer pekstona iz kamenoloma Gunčić iz sloja 3.	48
Slika 7.5. Proces konstruiranja skice idealiziranih slojeva na izdanku u kamenolomu	50
Slika 7.6. Proces izrade skice idealizirane površine izdanka.	51
Slika 7.7. Učestalost pojedinih debljina ploča unutar intervala od 3 m, na zamišljenoj	52

1. Uvod

U ovom radu prikazan je proračun iskoristivosti stijenske mase prirodnog kamena, na primjeru kamenoloma Gunčić koji je u vlasništvu obitelji Gunčić. Kamenolom se nalazi u blizini Samobora, a u njemu se eksploatirao tzv. Lipovečki kamen ili Lipovečki pločasti vapnenac. Također prikazane su karakteristike samog ležišta te litološki sastav kamena i njegova mineraloško-petrografska svojstva.

Već od kamenog doba, čovjek koristi kamen u razne svrhe, i taj detalj se kroz povijest do danas malo mijenjao, ali se uvelike mijenja količina iskoristivog materijala. Jednostavnim izračunima može se povećati iskoristivost stijenske mase u graditeljske ili u dekorativne svrhe. Već stari Egipćani koriste velike, masivne, pravilno oblikovane, blokove stijena ili monolite, prvenstveno znane zbog izgradnje velikih grobnica faraona, odnosno piramida. Možemo se dalje pozvati i na Grke i njihove razne skulpture i korištenje kamena posebno znane kao mramore i vapnence koji dominiraju u graditeljstvu još u IV. stoljeća pr. Kr., ili Rimljane koji su svojim dekoracijama podigli iskoristivost kamena na sasvim novu razinu.

Važno je napomenuti da se u ležištima prirodnog kamena obično vade veliki „zdravi“ blokovi, te se za takva ležišta računaju koeficijenti iskoristivosti ili cjelovitosti. Ležište Lipovečkog kamena karakteristično je po jako izraženoj slojevitosti. Debljine slojeva variraju od 3 do 20 cm. U ležištu se eksploatiraju tanke ploče čije debljine ovise o debljini slojeva. Ovisno o debljini ploča variraju i cijene proizvoda te tanje ploče obično imaju mnogo veću ekonomsku vrijednost nego deblje. U ovom slučaju izračun koeficijenata cjelovitosti uvelike ovisi o diskontinuitetima (pukotinama i slojevitosti) u ležištu, njihovim sustavima i razmacima. U radu će biti prikazana procjena iskoristivosti stijenske mase izračunavanjem linearnog, površinskog i volumnog koeficijenta iskoristivosti (cjelovitosti).

Jedno od najpoznatijih ležišta prirodnog kamena u Hrvatskoj je svakako benkovački uslojeni vapnenac. Zbog velike iskoristivosti i površine prostiranja samog vapnenca, kamenolomi koji se nalaze na ležištima Benkovačkog slojevitog vapnenca mogu se uzeti kao reprezentativni primjer za izračun koeficijenta cjelovitosti za tanke ploče. U ovom radu korištene su smjernice za izračun koeficijenata cjelovitosti bazirane na izračunima koje je

koristio Pedić (2012) u svom diplomskom radu „Mogućnost procjene i povećanja iskoristivosti benkovačkog prirodnog kamena u ležištu Pridraga“.

Osim određivanja iskoristivosti cilj diplomskoga rada je bio i odrediti litotipove na temelju mineraloško-petrografskih analiza uzoraka uzetih na terenu, a koji su ekvivalentni pojedinim slojevima koji se eksploatiraju te povezati litotipove s uvjetima taloženja i nastanka stijena.

Pod nazivom arhitektonsko-građevni kamen ili prirodni kamen podrazumijeva se posebna vrsta kamena kojoj je osnovna zadaća zadovoljenje dekorativnih zahtjeva u konstrukciji, odnosno oplemenjivanje prostora u kojem živimo (TOMAŠIĆ, 2006; DUNDA et al., 2003). Osim naziva arhitektonsko-građevni kamen u upotrebi su nazivi kao prirodni kamen, ukrasni kamen, te kamen za oblaganje. Ova vrsta kamena kao i ležišta u kojima se eksploatira podliježe ocjeni na temelju većeg broja kriterija, a to su dekorativni kriterij, koji ima glavnu važnost, tehnički kriterij, tehnološki kriterij, geološki kriterij (bitan prilikom procjene iskoristivosti stijenske mase u ležištu u obliku blokova) i na kraju ekonomski kriterij. Kombinacijom ovih kriterija određuje se kvaliteta i cijena prirodnog kamena koji se eksploatira.

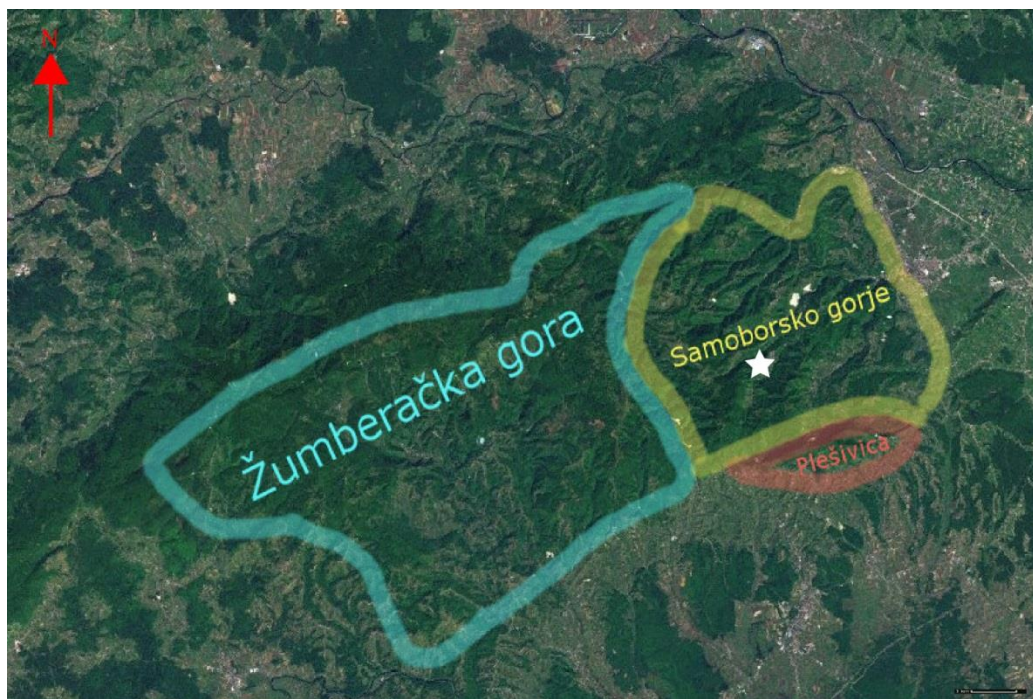
Cijene Lipovečkog vapnenca variraju od 200 do 600 kn/m³, a najviše ovise o debljini ploča, najtanje su najskuplje, dok su deblje ploče jeftinije. Zbog svojstava te crne do sive boje kamen bi se trebao češće upotrebljavati u interijeru, nego u eksterijeru. Pri velikom utjecaju sunčeve svjetlosti, te malog ali postojanog utjecaja atmosferilija boja s vremenom blijedi te se gubi dekorativnost ugrađenog kamena.

2. Geografske značajke šireg i užeg područja istraživanja

2.1. Geografija šireg područja

Glavnu geografsku cjelinu šireg područja istraživanja čini Žumberačka gora ili Žumberak - gorje na sjeverozapadu Hrvatske, južno od Zagorja i zapadno od Zagreba te dijelom u Sloveniji, a sa sjeverne strane omeđeno Medvednicom. Žumberak je također i naziv za hrvatsku mikroregiju koja obuhvaća hrvatski dio gore, ali bez Samoborskog gorja koje je zapravo smješteno na istočnim obroncima Žumberačke gore. Najviši vrh je Sveta Gera smještena na nadmorskoj visini od 1178 metara i koji je najviši vrh kontinentalne Hrvatske. Žumberačko gorje (slika 2.1) tvori nekoliko gorskih lanaca: Žumberačka gora, Samoborsko gorje i Plešivica.

Samoborsko gorje nalazi se zapadno od grada Samobora i po njemu je dobilo ime te je dio Žumberačkog gorja, smješteno na njegovim istočnim obroncima. Potoci Lipovečka i Rudarska Gradna gorje su podijelili u tri skupine: Plešivicu, Japetić i Oštrc. Samoborsko gorje proteže se od Plešivice na jugu do rijeke Bregane i državne granice na sjeveru, sve do naselja Bregana. Istočna granica proteže se od Bregane do Okića. Samoborsko gorje je 1999. godine, zajedno sa Žumberačkom gorom, proglašeno parkom prirode. Kamenolom se nalazi na južnim obroncima Samoborskog gorja nedaleko od Samobora (slika 2.1).



Slika 2.1. Geografski položaj i podjela Žumberačkog gorja, te pozicija kamenoloma (bijela zvjezdica).

(<https://www.google.hr/maps/>)

2.2. Geografski položaj kamenoloma Gunčić

Kamenolom Gunčić (slika 2.2) smješten je u južnom djelu Samoborskog gorja, nedaleko od Samobora. Od Samobora do ležišta vodi desetak kilometara duga asfaltirana cesta, koja prolazi kroz malena naselja, pored kamenoloma Lipovec, te kamenoloma Gradna. Baza samog kamenoloma smještena je na nadmorskoj visini od oko 330 m do 332 m, u dolini potoka Lipovečka Gradna, s njegove sjeverne strane, u neposrednoj blizini Smerovišća. Ležište je preko Samobora povezano sa svim postojećim i potencijalnim potrošačkim centrima u bližoj i daljoj okolini. Na slici 2.3. prikazan je detaljniji geografski položaj kamenoloma u okviru Samoborskog gorja. Označen je svijetlo zelenom zvjezdicom.



Slika 2.2. Kamenolom Gunčić.



Slika 2.3. Geografski položaj kamenoloma Gunčić označen sa zelenom zvjezdicom.

(<https://www.google.hr/maps/>).

3. Geološke značajke šireg i užeg područja istraživanja

3.1. Geologija šireg područja

Najstarije stijene na širem istraživanom području prikazane na OGK listu Zagreb (slika 3.1 i 3.2) su paleozojski metamorfiti Medvednice (ŠIKIĆ et al., 1979). Prema istim autorima Ishodišne stijene jednim dijelom imaju obilježja vulkanogeno – sedimentnog kompleksa. Na temelju konodonata starost im je određena unutar raspona devon – karbon. Tijekom hercinske orogeneze su regionalno metamorfozirane pod PT-uvjetima facijesa zelenih škriljavaca do zone gornjih tinjčevih škriljavaca. Ortometamorfiti su predstavljeni zelenim škriljavicima, zatim metamorfoziranim gabrima, dijabazima i doleritima. Parametamorfitima pripadaju škriljave grauvake, subgrauvake i siliti, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, slejtovi, filiti i različiti niskometamorfni škriljavci, kvarciti, mramori i cipolinski škriljavci. Za dolomite i dolomitne vapnence vezane su metasomatske pojave galenita i sfalerita (ŠIKIĆ et al., 1979).

U vrijeme donjeg trijasa na širem prostoru, izuzev izdignutih dijelova kristalina, obnovljena je plitkovodna sedimentacija. Utjecaj karbonatne komponente postupno se povećavao. Naslage su fosilizirane (školjke, puževi, foraminifere) te su dokazane sajske i kampilske jedinice.

Kontinuirana sedimentacija nastavljena je u anizik. Ustalila se karbonatna sedimentacija. Uz dolomite, koji daju osnovno litofacijsno obilježje cijelom razvoju srednjeg trijasa, prisutno je nešto vapnenaca i dolomitnih vapnenaca. Pretežno monotoni dolomitni razvoj, uz vrlo oskudne fosilne ostatke, nije omogućio detaljniju podjelu srednjotrijaskih naslaga (ŠIKIĆ et al., 1979).

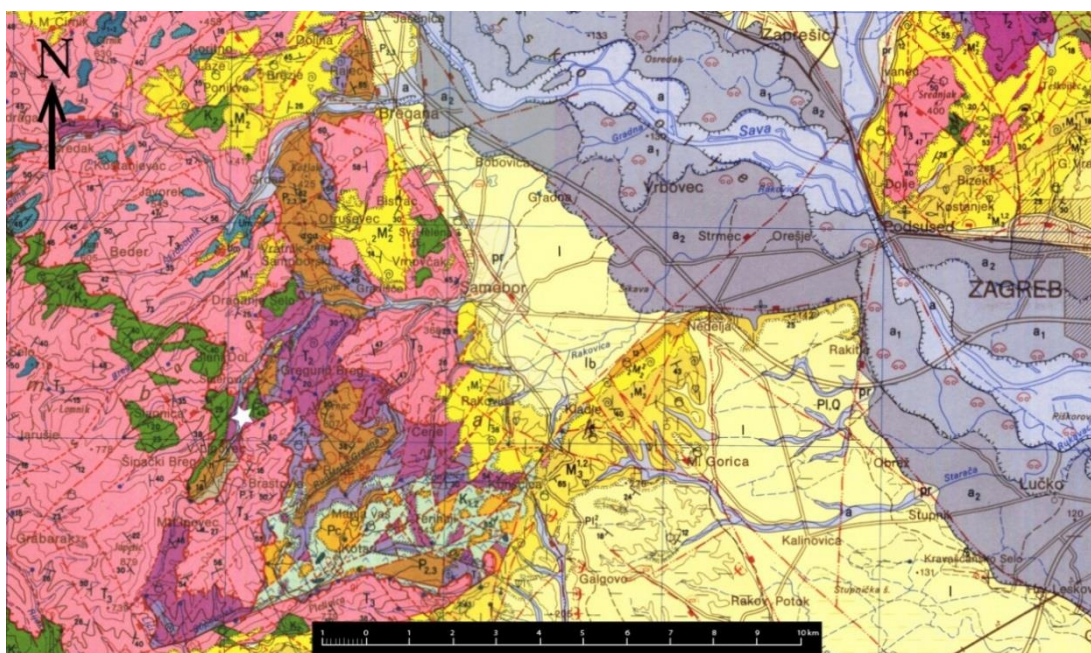
Tijekom ladinika, do tada mirna karbonatna sedimentacija, poremećena je tektonskim pokretima značajnim za širi prostor. Duž dubinskih rasjeda došlo je do eksplozivnih vulkanskih događaja i submarinskog nakupljanja piroklastičnog materijala. Kao odraz spomenutih pokreta, u Žumberku, Orlici i jugozapadnom dijelu Medvednice, mogu se naći relativno tanke naslage fosilifernih vapnenaca, lapora, šejlova, radiolarijskih rožnjaka i piroklastita. Ladinička starost vapnenačko – klastičnih slojeva dokumentirana je nalazima makrofosila (cefalopodi, školjke). Mikrofosili su rijetki (ŠIKIĆ et al., 1979).

Još u toku ladinika obnovljen je režim plitkovodne karbonatne sedimentacije, koji se kontinuirano nastavio kroz cijeli gornji trijas. Gornjotrijaski dolomiti stromatolitnog tipa, najznačajniji su litološki element u strukturnoj građi istočnog Žumberka i djelomice jugozapadnog dijela Medvednice. U starijem, vjerojatno karničkom dijelu dolomita zapaženi

su tanki proslojci šejlova, a u najmlađem dijelu vapnenci s retskim megalodontnim školjkašima. Retski vapnenci i dolomitni vapnenci u sastavu retolijasa Medvednice, plitkovodnog su tipa, dok su lijaski vapnenci već taloženi u nešto dubljoj sredini (ŠIKIĆ et al., 1979).

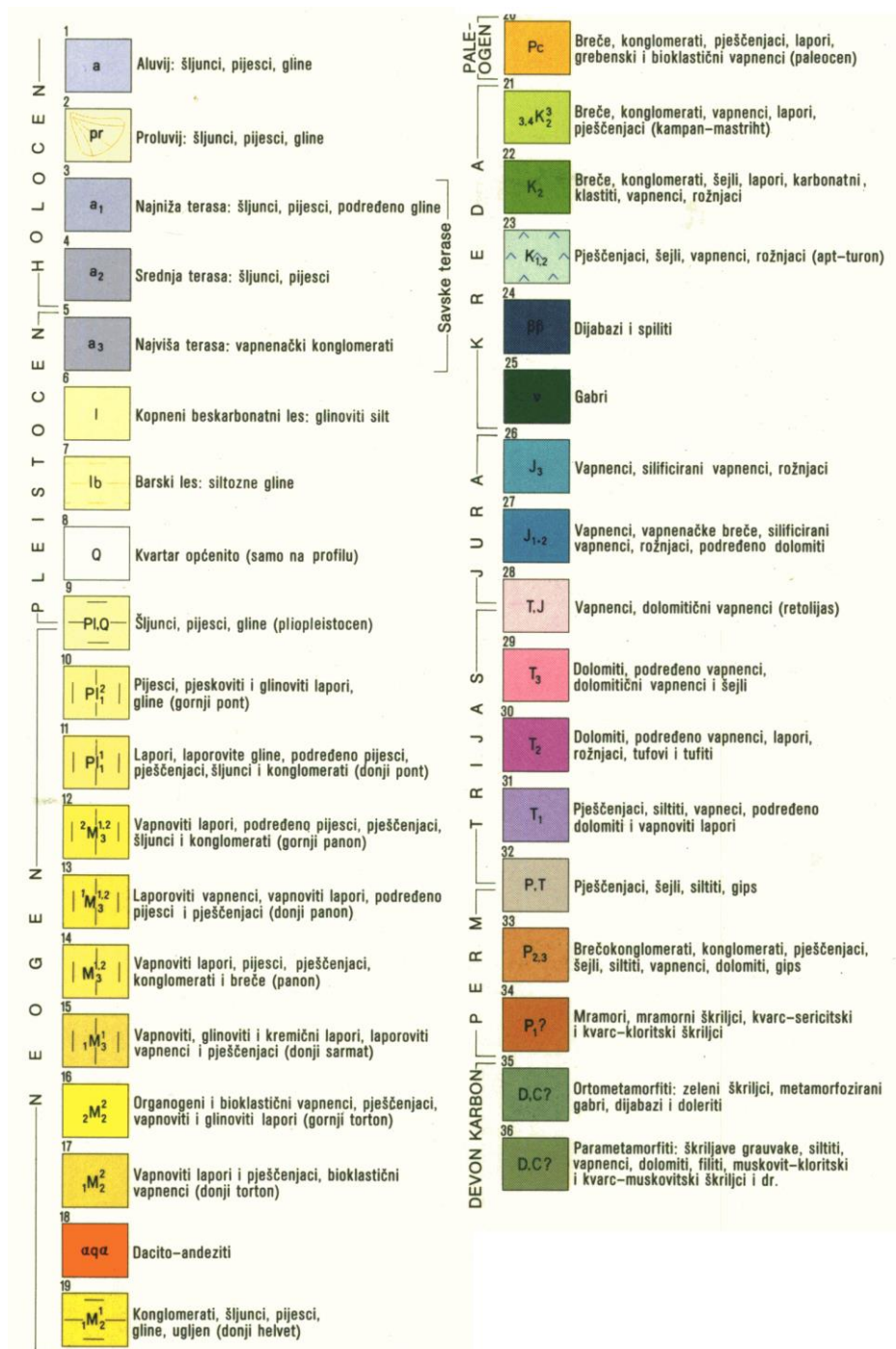
U istočnom Žumberku sačuvan je kontinuirani slijed naslaga od gornjotrijaskih dolomita do srednjolijaskih vapnenaca, koji sadrže izrazito plitkovodne mikrofosile (alge, foraminifere i dr.). Područje Medvednice koje je zajedno s dijelom Samoborske gore vjerojatno od kraja turona egzistiralo kao kopno, tek početkom kampana bilo je zahvaćeno transgresijom. Taloženi su bazalni konglomerati i breče, subgrauvakni pješčenjaci, pelagički vapnenci, šejlovi, lapori, siltiti i karbonatni klastiti. Naslage su fosiliferne (makrofosili, globotrunkane i dr.). Tektonska aktivnost praćena rasjedima smjera sjeveroistok – jugozapad dovodi do transgresije početkom gornjeg tortona (Medvednica, Žumberak, Orlica, Marijagorička brda). Taloženi su litotamniji vapnenci, litavci, vapnenački pješčenjaci i lapori. Sadrže brojne makrofosile i foraminifera (ŠIKIĆ et al., 1979).

Žumberačko gorje je izgrađeno najvećim dijelom od trijaskih dolomita, a osim njih u građi se javljaju naslage raspona od perma do kvartara (PLENIČAR & PREMUR, 1977; ŠIKIĆ et al., 1979, preuzeto iz magistarskog rada: GRGASOVIĆ, 1998).



Slika 3.1. Osnovna geološka karta 1:100 000, list Zagreb, s označenom lokacijom kamenoloma u kojem se eksploatira Lipovečki vapnenac (bijela zvjezdica).

(preuzeto iz OGK, list Zagreb, L 38-80; ŠIKIĆ et al., 1979)



Slika 3.2. Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1: 100 000, list Zagreb.

(ŠIKIĆ et al., 1979)

3.2. Geološka građa ležišta u kojem se eksploatira Lipovečki vapnenac

Ležište arhitektonsko-građevnog ili prirodnog kamena u kojem se eksploatira Lipovečki vapnenac otvoreno je u obliku površinskog kopa u blizini potoka Lipovečka Gradna. Donji dio ležišta izgrađen je od dobro uslojenih vapnenaca. Slojne plohe su uglavnom otvorene, a slojevi vapnenaca se vrlo lako odvajaju („kalaju“) duž slojnih ploha. Između slojnih ploha vidljiva je pojava gline i laporovite komponente odnosno glinovito laporovitih proslojaka kojima je još više naglašena slojevitost. Uz navedeno u ležištu su utvrđene i pojave crnog šejla. Slojevi su gotovo horizontalni i vrlo blago povijeni, a njihov položaj izmjeren na terenu iznosi 130/7. Pukotine su uglavnom vertikalne ili subvertikalne. Cijela stijenska masa je izgrađena od dobro uslojenih vapnenaca čija ukupna debljina iznosi preko 20 metara. Slojevi vapnenaca debljine su mjestimično i preko 20 cm, no najčešće debljine slojeva su od 3 do 13 cm. Glinovito-laporoviti proslojci su uglavnom mnogo tanji, te rijetko prelaze debljinu od 0,5 cm.

Stijenska masa u ležištu zahvaćena je eksploatacijom po cjelokupnoj visini. Osnovna etaža nalazi se na razini od 330 m. U vršnim dijelovima ležište doseže do visine od 375 m. Mala, povremena i relativno jednostavna proizvodnja kamena u ležištu nije dozvoljavala njegov pravilan razvoj, što se u zadnje vrijeme pokušavalo promijeniti. Radne kosine su vrlo strme od 60° do 70°, mjestimično i strmije. Posljedica su položaja pukotinskih sustava s obzirom da olakšavaju eksploataciju. Kompletne stijenske mase su gotovo u potpunosti otvorene. Na padinama izvan istražnog prostora i postojeće eksploatacije je gusta šuma (TOMAŠIĆ, 2004).

Strukturni sklop ležišta posljedica je kompleksnih tektonskih pokreta koji su se zbivali od mezozoika do danas. Slojevitost je jedna od glavnih teksturnih karakteristika ležišta. Pogotovo je dobro izražena u crnim i tamnosivim vapnencima. Najveći rasjed u području ležišta pruža se dolinom Lipovečke Gradne sa spuštenim jugoistočnim krilom. Tektonska aktivnost koja je u više faza oblikovala strukturni sklop, ostavila je traga u stijenskoj masi u obliku mikro i makropukotina. Pukotine su pretežito subvertikalne do vertikalne na blago nagnutu slojevitost (TOMAŠIĆ et al., 2004).

Za stabilnost vapnenca najznačajniji su slojevitost, orijentacija i učestalost pukotinskih sustava. Presudno je dobro dreniranje vode. Analiza pukotinskih sustava u kamenolomu Lipovec pokazala je da je otkopna fronta stabilna (TOMAŠIĆ, 1999).

3.3. Osnovne karakteristike Lipovečkog vapnenca

Lipovečki vapnenac je tamno sive boje, gotovo crn ili na nekim dijelovima plavkast. Mjestimično je isprijecan i prošaran kalcitnim žilicama. Lom kod ovog vapnenca je plitkoškolkast i fino hrapav. Vapnenac je određen i kao piritizirani bituminozni kalcilutitni vapnenac tipa mudstone s rekristaliziranim gnjezdima ispunjenim mikro sparitom (TOMAŠIĆ, 2004). Reakcija sa razrijeđenom HCl je veoma burna. Također je utvrđen i određeni udio kvarca u ovim stijenkama (TOMAŠIĆ, 2004). Na temelju nalaza fosila (BABIĆ et al., 1980), prvenstveno amonita i foraminifera, te na temelju revizije odredbi ranije nađenih fosila (prema kojima je bio interpretiran perm), ponovo se dokazuje prvotno utvrđena srednje trijaska starost Lipovečkog vapnenca.

Bituminozni vapnenac nastao je taloženjem u marinskoj sredini uz sudjelovanje organizama i kemijskim procesima (TOMAŠIĆ, 2004). Tamnosiva do crna boja potječe od sačuvane organske bituminozne tvari. To ukazuje na vrlo bujan život u takvoj marinskoj sredini. Ugibanjem živog svijeta, skeleti organizama taloženi su na dnu sedimentacijskog bazena, gdje su vladali redukcijski uvjeti što je onemogućilo oksidaciju organske tvari.

Zbog velike količine organske tvari kamen ima vrlo malo upijanje vode zbog čega je izuzetno otporan na mraz i atmosferilije (TOMAŠIĆ, 2004). U tablici 3.1. navedene su glavna fizičko-mehanička svojstva kamena u kamenolomima Gunčić i Lipovec. Vidljivo je da je kamen vrlo otporan na mraz, ima dosta veliku čvrstoću i malu poroznost. Velika otpornost na upijanje vode daje dodatnu kvalitetu ovom kamenu, iako ima nešto manju otpornost na habanje. Zbog otpornosti na habanje, prilikom ugradnje kamena na horizontalne površine treba obratiti pažnju na održavanje, te ga je u određenom vremenskom intervalu potrebno obraditi.

Rezultati istraživanja provedenih u elaboratu (TOMAŠIĆ & KUKINA, 2004) ukazuju na prisutnost dolomitizacije i piritizacije u Lipovečkim vapnencima. Na to ukazuju povećane gustoće i rezultati kemijskih analiza prikazani u tablici 3.2. i 3.3. Manjim djelom na njih je utjecala dolomitizacija, a većim piritizacija.

Tablica 3.1. Fizičko-mehanička svojstva kamena u kamenolomima Gunčić i Lipovec
(preuzeto iz elaborata TOMAŠIĆ & KUKINA, 2004.)

Fizičko-mehanička svojstva	Kamenolom Gunčić	Kamenolom Lipovec
Čvrstoća na pritisak u suhom stanju	111,0 Mpa	143,7 MPa
Čvrstoća na pritisak u vodom zasićenom stanju	104,0 Mpa	-
Čvrstoća na savijanje	13,1 Mpa	-
Otpornost na habanje struganjem po Bohme-u	16,6 cm ³ /50cm ²	16,8 cm ³ /50cm ²
Upijanje vode	0,16 mas. %	0,134 mas. %
Prostorna masa	2,722 g/cm ³	2,706 g/cm ³
Gustoća	2,751 g/cm ³	2,736 g/cm ³
Poroznost	0,44 vol. %	-
Otpornost na mraz	Otporan	Otporan

Tablica 3.2. Rezultati kemijske analize (preuzeto iz elaborata)

SiO ₂	6,69 %
R ₂ O ₃	13,54 %
Fe ₂ O ₃	2,90 %
Al ₂ O ₃	10,64 %
CaO	43,24 %
MgO	3,85 %
P ₂ O ₅	0,12 %
K ₂ O	0,47 %
pH u H ₂ O	8,2
pH u N/KCl	7,4
org. tvar (gub. žar)	5,75 %
Fiziološki aktivni P ₂ O ₅	8,3 mg na 100 g.
Fiziološko aktivni K ₂ O ₅	9,4 mg na 100 g.

Tablica 3.3. Rezultati kemijske analize kam. 230/79 (preuzeto iz elaborata TOMAŠIĆ & KUKINA, 2004.)

Vlaga (105 °C)	0,26 %
Gubitak žarenjem na 1000 °C	41, 57 %
SiO ₂ + netopivi ostatak	7,49 %
SO ₃	0,04 %
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0, 53 %
CaO	47,41 %
MgO	2,37 %
Ukupno:	99,67 %
CaCO ₃ (kalcit)	76,96 %
CaMg(CO ₃) ₂ (dolomit)	10,85 %
Organska tvar	1,27 %

Prema prikazanim fizičko-mehaničkim svojstvima, dosadašnjoj eksploataciji i iskustvima stečenim prilikom ugradnje može se zaključiti da je najveći dio stijenske mase u ležištima pogodan za eksploataciju i proizvodnju prirodnog kamena u obliku tanjih i debljih kamenih

elemenata, ovisno o debljini slojeva. Kamen je pogodan za izgradnju dekorativnih zidova te općenito kao obloga unutrašnjih i vanjskih vertikalnih i horizontalnih površina (TOMAŠIĆ, 2004) kao što je prikazano na vanjskoj horizontalnoj površini u Pub baru Oliver Twist u Zagrebu (slika 3.3).

Lipovečki kamen osjetljiv je na utjecaj egzogenih čimbenika. Na vertikalnim površinama mijenja svoju prirodnu boju te postaje sivkasto-plavkast različito nijansiran. Boja mu se mijenja pod utjecajem sunca i kiše. Usprkos tome, na tržištu je ovaj kamen prihvaćen bez reklamacije na promjenu boje.



Slika 3.3. Lipovečki kamen na terasi Oliver Twist puba u Zagrebu.

(<https://goo.gl/images/SbJTP5>)

4. Cjelovitost ili iskoristivost ležišta prirodnog kamena

4.1. Karakteristike ležišta koje utječu na cjelovitost ili iskoristivost stijenske mase

Cjelovitost ili iskoristivost stijenske mase u okviru utvrđivanja geoloških uvjeta ležišta prirodnog ili arhitektonsko-građevnog kamena vrlo je važan kriterij za ocjenu isplativosti eksploatacije i upotrebljivosti u odgovarajuće svrhe. Metodom određivanja cjelovitosti procjenjuje se količina iskoristive stijenske mase u ležištu te veličina kamenih elemenata koje je moguće pridobivati. Elementi koji direktno utječu na cjelovitost su diskontinuiteti u ležištu kao slojevitost i pukotine (TOMAŠIĆ, 1976).

Ocjena cjelovitosti stijenske mase izrađuje se na prirodno otvorenim profilima i na profilima otvorenim istražnim radovima. Naročito je povoljno utvrditi cjelovitost stijenske mase na profilima starih radova u kamenolomima. Profili bi trebali biti međusobno okomiti kako bi se dobili najbolji rezultati. Kameni blokovi su u tektonskom makrosklopu prirodno odijeljeni slojnim ploham, pukotinama i rasjednim zonama. Površine odijeljenih blokova prikazuju se na skici otvorenih površina iz koje se vade podaci visina i širina iskoristivih blokova, a na osnovi tih vrijednosti računa se površinski koeficijent cjelovitosti (CRNKOVIĆ, 1966; TOMAŠIĆ, 1976; TOMAŠIĆ, 1982; TOMAŠIĆ, 1994).

Primjena rezultata analize cjelovitosti ima značajnu ulogu u eksploataciji prirodnoga kamena, te u njegovoj industrijskoj preradi, s nekoliko stajališta. Omogućuje bolji uvid u stanje stijenske mase ležišta, daje osnovu za izradu plana eksploatacije, a uz dobro poznavanje fizičko-mehaničkih svojstava kamena omogućuje pravilan izbor odgovarajuće tehnologije eksploatacije. Spoznaja o mogućoj veličini blokova koji bi se mogli vaditi iz jednog ležišta, a kojih u tom ležištu ima najviše, što je vidljivo iz analize cjelovitosti stijenske mase i pratećih dijagrama, pomaže prilikom donošenja odluke o primjeni odgovarajuće tehnologije industrijske prerade gotovih blokova, prvenstveno konačnih proizvoda (ploča) (TOMAŠIĆ, 1976).

Kod proračuna koeficijenta iskoristivosti ležišta, odnosno mogućnosti dobivanja zdravih blokova kamena, trebalo bi primijeniti odgovarajuću metodu, analizu cjelovitosti stijenske mase te izračunati koeficijent iskoristivosti kao kvantitativni pokazatelj koji je čvrsto povezan s utvrđivanjem kategorija i kvalitete rezervi ležišta (TOMAŠIĆ, 1976).

Za reprezentativni primjer za izračun koeficijenata (cjelovitosti) iskoristivosti mogu se navesti ležišta prirodnog kamena benkovačkog vapnenca. U svome diplomskom radu Pedić je (2012) računao koeficijente cjelovitosti stijenske mase na primjeru Benkovačkog vapnenca u

kamenolomu „Pridraga“, te došao do zaključka da sustavi pukotina i slojevitost, odnosno diskontinuiteti imaju velik značaj za krajnji rezultat. Isti je autor došao je do zaključka da se volumni koeficijent cjelovitosti razlikuje u načinu izračuna. Umnoškom tri međusobno okomita linearna koeficijenta cjelovitosti, volumni koeficijent iznosio je oko 15% više nego u slučaju umnoška površinskog koeficijenta cjelovitosti i na njega okomitog linearnog koeficijenta. Zbog velikog utjecaja pukotina i pravilnih ploča, dimenzija 40x40 cm, ocijenjeno je da je volumni koeficijent dobiven umnoškom površinskog i na njega okomitog linearnog koeficijenta mnogo realniji i točniji, te je uzet kao važeći.

Izračun koeficijenata (cjelovitosti) iskoristivosti koristi se prvenstveno na ležištima gdje se eksploatiraju veliki blokovi, manje na ležištima kao što su Benkovački ili Lipovečki kamen. Na takvim ležištima veliku ulogu igraju diskontinuiteti koje treba uzeti u obzir prilikom izračuna koeficijenata cjelovitosti. Tanki slojevi, koji daju tanke ploče prirodnog kamena, zbog sustava pukotina i slojevitosti imaju velik utjecaj na smanjenje krajnjeg volumnog koeficijenta cjelovitosti, te je samim time i manja ekonomska vrijednost ležišta.

4.2. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase

Kako bi se dobili što točniji podaci o iskoristivosti ležišta istražnim radovima se mogu utvrditi tri koeficijenta iskoristivosti stijenske mase. To su linearni koeficijent, površinski koeficijent, te volumni koeficijent iskoristivosti stijenske mase (TOMAŠIĆ, 1982; TOMAŠIĆ, 1994; TOMAŠIĆ et al. 2009; TOMAŠIĆ & KRŠINIĆ, 2010; TOMAŠIĆ et al. 2013).

Linearni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase može se utvrditi duž otkopnih fronti starih i novih kamenoloma te prilikom istraživanja istraživačkim bušotinama na jezgru. Izračun za linearni koeficijent iskoristivosti prikazan je izrazom:

$$Klcj. = \frac{\sum l}{L} \times 100 (\%) \quad (4-1)$$

gdje je: $Klcj.$ – linearni koeficijent cjelovitosti,

l – dužina cjelovitog intervala,

L – cijela dužina istraživanog intervala.

Površinski koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti najpogodnije se određuje na površinama starih i novih otkopnih fronti kamenoloma. Površinski koeficijent iskoristivosti računa se na

sljedeći način prema formuli:

$$Kpcj. = \frac{\sum (vxs)}{P} \times 100 (\%) \quad (4-2)$$

Gdje je: $Kpcj.$ – površinski koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti

v – visina bloka

s – širina bloka

P – površina istraživanog izdanka.

Volumni koeficijent cjelovitosti odnosno iskoristivosti stijenske mase određuje se na temelju istraživanja pomoću tri istraživačke bušotine određivanjem tri linearna koeficijenta cjelovitosti. Također se može odrediti na otkopnim frontama kamenoloma ukoliko je stijenska masa zasječena eksploatacijom pod kutom od približno 90°. Volumni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti također se može izračunati umnoškom površinskog i linearnog koeficijenta iskoristivosti. Izračun za volumni koeficijent iskoristivosti dan je sljedećim izrazom:

$$Kvcj. = \frac{\Sigma(vxsxd)}{V} \times 100 (\%)$$

(4-3)

Gdje je: *Kvcj.* – volumni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti

v – visina bloka

s – širina bloka

d – dužina bloka

V – ukupni volumen istraživane stijenske mase.

Kao što je rečeno volumni koeficijent iskoristivosti može se odrediti i umnoškom preostala dva koeficijenta iskoristivosti, i to na sljedeći način:

$$Kvcj. = Klcj. \times Kpcj. \times 100 (\%)$$

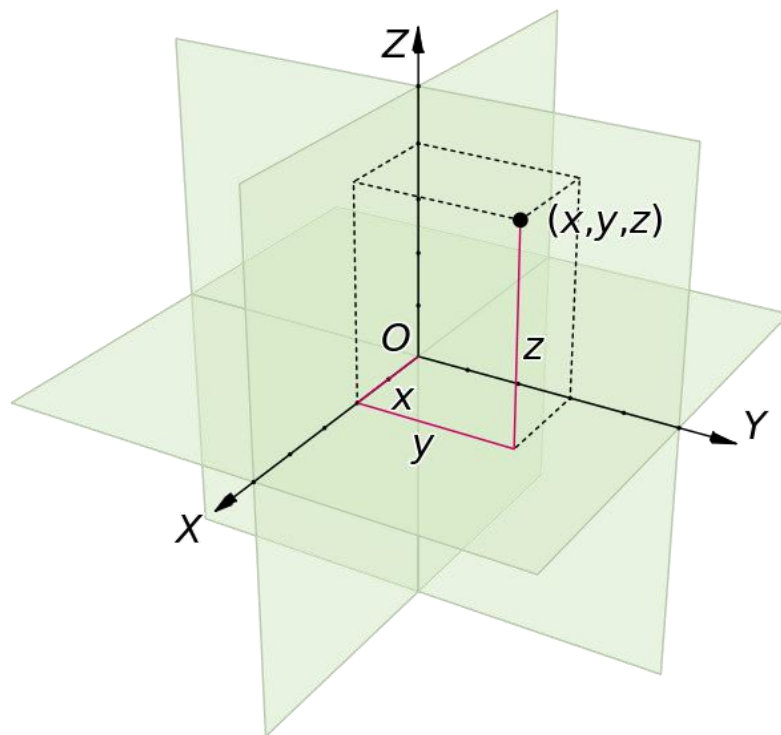
(4-4)

Također jedan od načina izračuna volumnog koeficijent iskoristivosti iz tri linearna koeficijenta iskoristivosti s time da je uvjet da sva tri koeficijenta budu međusobno okomita i da su okomita na diskontinuitete u stijenskoj masi.

$$Kvcj. = Klcj.(x) \times Klcj.(y) \times Klcj.(z) \times 100 (\%)$$

(4-5)

Prilikom izračunavanja cjelovitosti strukturni su elementi postavljeni u skladu sa Kartezijevim trodimenzionalnim koordinatnim sustavom (slika 4.1).



Slika 4.1. Kartezijev koordinatni sustav
(<https://goo.gl/images/2xtmFb>).

4.3. Metodologija eksploatacije u ležištu i utjecaj na iskoristivost

Za ležište, s obzirom da je malo, nije povoljna njegova relativno velika visina od osnovne etaže 330 do visine od 375 m. Utvrđivanje većih rezervi zahtijevalo bi veću širinu otkopne fronte. Na eksploataciju odnosno formiranje visine, širine i nagiba pojedinih etaža utječu inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke ležišta. S obzirom na svoju namjenu, iako intenzivno raspucana, stijenska masa povoljna je za različite namjene. Vapnenci se koriste kao prirodni ili arhitektonsko-građevni kamen. Eksploatacija je relativno jednostavna, a obavlja se pomoću čeličnih poluga, pijuka, klinova i bata. Također i obrada kamenih elemenata je relativno jednostavna (TOMAŠIĆ, 2004).

Bitno je naglasiti da se debljine ploča razlikuju ovisno o debljinama slojeva. Samim time velike su razlike u cijenama za različite debljine ploča (tablica 4.1). Prilikom eksploatacije ploče se slažu na drvene palete u mjerama jednog kubičnog metra (slika 4.2).

Tablica 4.1. Cjenovni razred ploča ovisno o debljini (preuzeto iz elaborata)

Debljina ploča (cm)	Kn/m ³
2-3	600,00
3-5	400,00
5-7	350,00
7-10	200,00
10-13	200,00
13-17	200,00
>17	200,00

Tanje ploče su cjenjenije i višestruko skuplje nego one deblje. Osim s dekorativnog gledišta, utjecaj na cijenu ima i način eksploatacije koji je kudikamo kompliciraniji i teži za tanje ploče nego što je slučaj kod debljih ploča. Također tanje ploče su mnogo rjeđe u ležištu nego deblje ploče, te je i to jedan od razloga razlike u cijeni.



Slika 4.2. Paleta s pločama Lipovečkog vapnenca.

5. Metodologija istraživanja

5.1. Terenski rad

Jedan od ključnih zadataka prilikom izrade diplomskog rada, bio je kvalitetno odraditi terenski rad. Terenski rad obavljen je na staroj otkopnoj fronti u kamenolomu Gunčić kraj Samobora (slika 2.3). Tijekom terenskog rada odredio se kut i smjer nagiba slojeva, debljina pojedinih slojeva te sustavi pukotina i razmaci između njih. Na temelju navedenih podataka konstruirao se donji dio ležišta visine približno od 3 m i površine od oko 20 m² na osnovu kojeg se izračunao linearni, površinski i volumni koeficijent iskoristivosti ili cjelovitosti stijenske mase. Utvrđeno je da se debljina slojeva u ovom ležištu, a koja je obuhvaćena diplomskim radom, kreće uglavnom od 3 do 20 cm, pri čemu slijed slojeva ne igra bitnu ulogu. Na terenu je također zabilježena gornja ploha sloja koja je bila relevantna prilikom izračuna površinskog koeficijenta iskoristivosti ležišta.

Na terenu su prikupljeni uzorci za daljnju laboratorijsku analizu, kako bi se determinirali litotipovi na osnovu makroskopskog i mikroskopskog pregleda. Uzorci su sakupljeni iz različitih slojeva, s time da se pazilo da budu svježije odlomljeni. Uzeto je točno deset uzoraka iz deset različitih slojeva. Pretpostavka je bila prilikom pregledavanja uzoraka na terenu da se radi o istom ili sličnom tipu vapnenaca taloženom za vrijeme srednjeg trijasa. Prilikom laboratorijskih i kabinetskih analiza pokazalo se da je raznolikost između slojeva ovih vapnenaca velika.

5.2. Laboratorijski i kabinetski rad

Laboratorijskim radom pristupilo se daljnjoj obradi uzoraka, odnosno određivanju litotipova i njihovih makroskopskih i mikroskopskih mineraloško-petrografskih značajki. Za mikroskopsku analizu uzoraka napravljeni su mikroskopski preparati koji se dobiju tako da se uzorci ispile na tanke pločice, te poliraju korundovim prahom i stanje do debljine približno od 0,03 mm. Kada se uzorci dovoljno stanje, pomoću kanadskog balzama se lijepe između objektnog i pokrovnog stakalca. Prethodno uzorci su bili bojani kemikalijama (K-fericijanid i Alizarin crveni S) prema metodi brzog bojanja mikroskopskih izbruska kako bi se olakšalo razlikovanja kalcita od dolomita i odnosa između kalcita i dolomita kod dolomitizacije i dedolomitizacije prema EVAMY & SHEARMAN (1962). Mikroskopski preparati su zatim

promatrani polarizacijskim mikroskopom tipa *Leica DM LSP*, dok su mikrofotografije snimljene digitalnom kamerom *Leica DM100*. Determinacija tipova vapnenaca načinjena je prema Dunhamovoj i Folkovoj klasifikaciji.

6. Rezultati istraživanja

6.1. Mineraloško-petrografska analiza

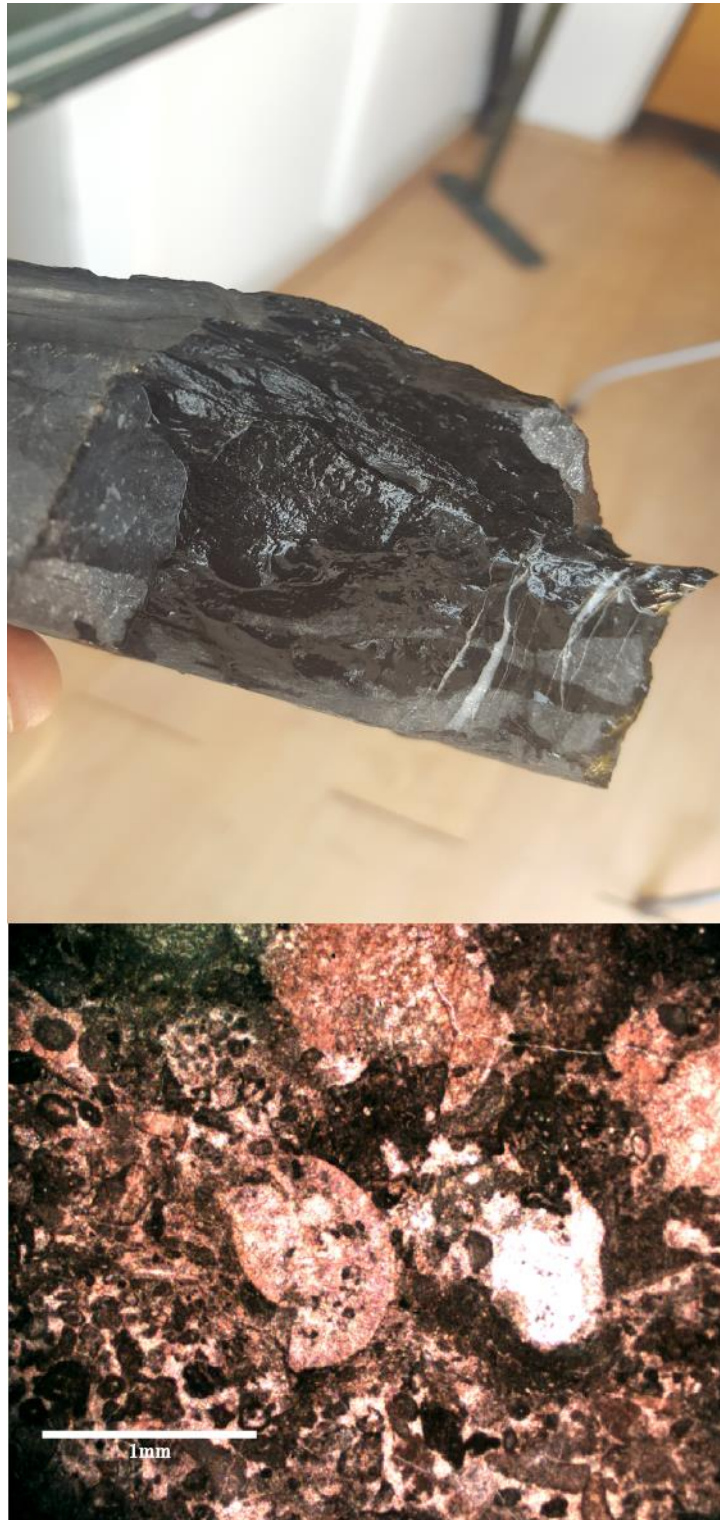
Prilikom terenskog rada uzorkovano je deset uzoraka iz deset različitih slojeva vapnenaca. Makroskopski su uzorci, bili pregledani već na terenu lupom, ali su za detaljnu mineraloško-petrografsku analizu napravljeni mikroskopski preparati. S obzirom da su uzorci tamni (sivi do crni), zbog prisutnosti veće količine organske materije u njima makroskopska determinacija na terenu je bila otežana. Uz korištenje lupe zaključeno je da se uzorci ipak razlikuju i prema makroskopskim karakteristikama. Prilikom djelovanja razrijeđene 10% klorovodične kiseline na uzorke reakcija je burna.

Prilikom pregleda preparata i njihova opisa, vodilo se računa o tome da se determinira tip veziva, sastav, tip i količina alokema, sustavi pukotina i tip nastanka pukotina, te njihova ispuna.

6.1.1. Uzorak iz sloja 3

Uzorak iz sloja 3 tamno sive do crne je boje. Na uzorku je također vidljiv mali broj kalcitnih žilica (slika 6.1). Lom je određen kao nepravilan, a uzorak burno reagira sa klorovodičnom kiselinom. Uzorak se prema tome može odrediti kao vekston/pekston.

U mikroskopskom preparatu, vidljivi su brojni fosili, od koji prevladavaju fragmenti krinoida, koji su uglavnom istih dimenzija, zatim fragmenti bodljikaši prepoznatljivi po monokristalastoj građi. Ovi su fragmenti različitih dimenzija i oblika. Uočena je također dobro očuvana ljuštura puža (slika 6.1), te mjestimično intraklasti i zrna opakog minerala pirita. Uočeno je nekoliko pukotina ispunjenih dolomitom. Vezivo u uzorku je dominantno mikritno, no u dijelovima je prisutno i nešto sparitnog cementa (slika 6.1). Prevladava zrnna potpora. Prema sastavu ovog vapnenca zaključeno je da je taložen u plićem marinskom okolišu biogenom detritusom. Stijena je determinirana kao pekston.

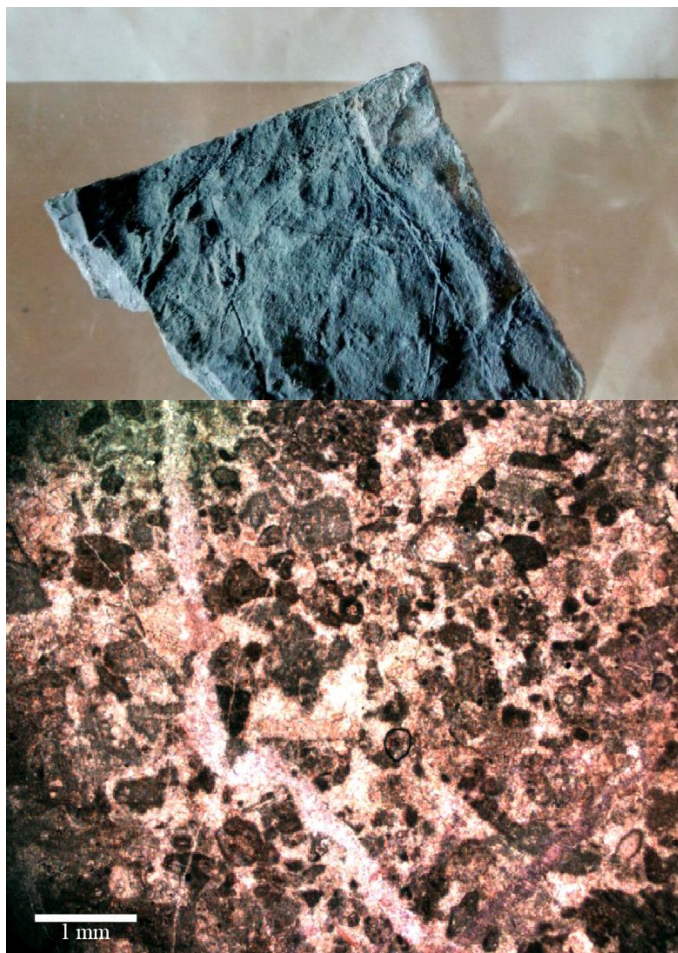


Slika 6.1. Uzorak tamno sive boje sa kalcitnim žilama (gore) i ljuštura puža te intraklasti vidljivi na mikroskopskom prikazu (dolje).

6.1.2. Uzorak iz sloja 5

Makroskopski uzorak (slika 6.2) je dominantno crne boje, sa nejasnim znakovima površinskog trošenja koji prema izgledu odgovaraju limonitizaciji. Na uzorku vidljiv je nešto manji broj kalcitnih žilica. Reakcija sa HCl je dosta burna. Uzorak se može determinirati kao vekston do pekston.

U mikroskopskom preparatu, se uočava da je dominantno vezivo mikrit, a u njemu, uglavnom bez međusobne potpore, „plivaju“ fragmenti fosila i intraklasti. Na tim mjestima uzorak je homogen i sitnozrnat. Vidljivo je da dolazi do blage promjene u odnosu na uzorak iz prethodnog sloja, manji je broj fosila, povećava se količina intraklasta. Od fosilnih ostataka prevladavaju fragmenti školjkaša, i kalcisfere. Na nekim dijelovima uzorka može se uočiti i zrska potpora, a pojavljuje se i cement kao vezivo (slika 6.2). Povećava se broj pukotina koje su ispunjene i kalcitom i dolomitom. Uzorak bi determinirali kao vekston.

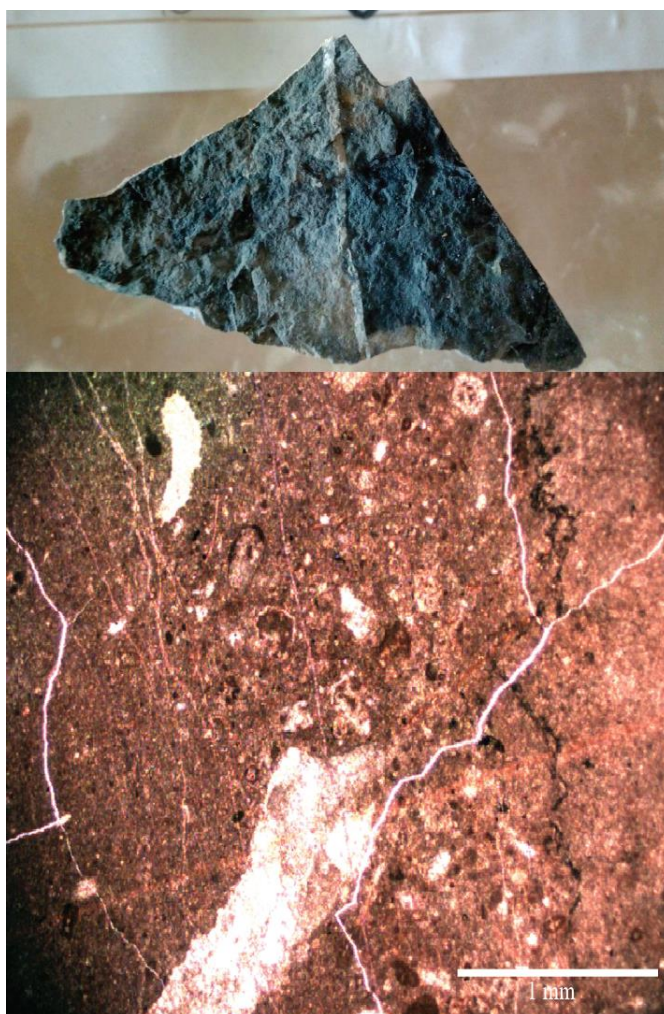


Slika 6.2. Uzorak tamnosive boje sa nejasnim površinskim trošenjem (gore), te mikroskopski uzorak raznolikog sastava, mikritnog i sparnog veziva, s brojnim intraklastima i alokemima te pukotina (dolje).

6.1.3. Uzorak iz sloja 6

Uzorak iz šestog sloja (slika 6.3) također je tamno sive boje. Ovaj uzorak je nešto više trošan, a trošenje je sekundarno i odgovara limonitizaciji. Karakteristična je jedna veća kalcitna žila širine od gotovo 5 mm koja ide preko čitavog uzorka. I ovaj uzorak je određen kao vekston.

U mikroskopskom preparatu uzorka iz sloja 6, dominantan sastojak je mikrit. Fosilni ostaci su rijetki i vidljivi samo na nekoliko mjesta u uzorku te ih uglavnom sačinjavaju mahovnjaci i fragmenti školjkaša. Dio uzorka je prerađen organizmima – bioturbiran. Mjestimično su vidljivi i minerali kvarca kao silificirani dio, te jedan stilolitski šav (slika 6.3). Uzorak bi determinirali kao mikrit s fosilima/vekston.

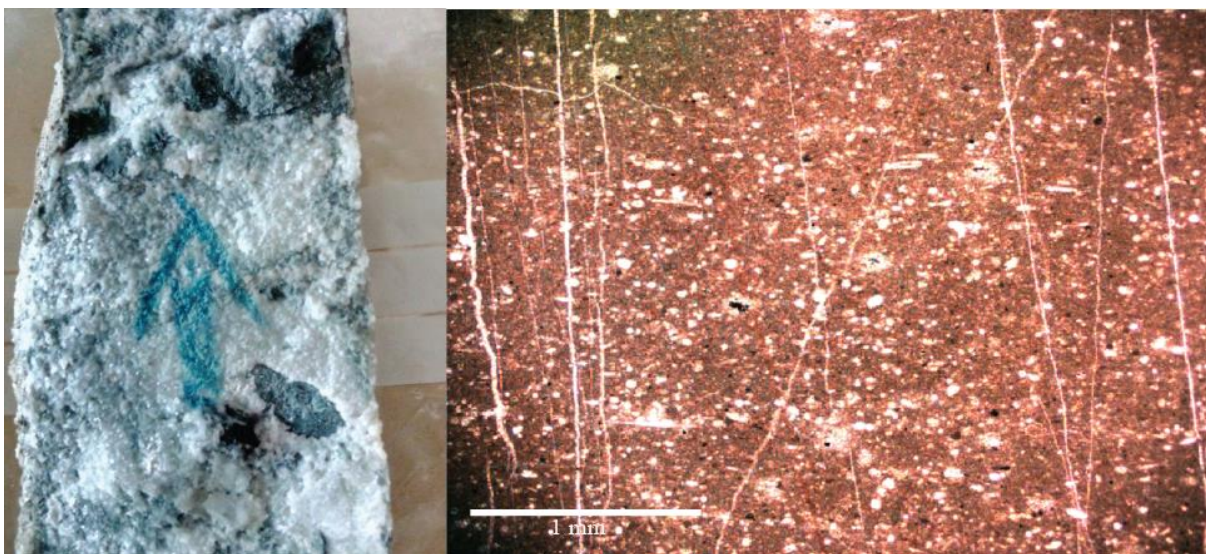


Slika 6.3. Uzorak iz sloja 6 sa vidljivom žilom ispunjenom kalcitom (gore) i tragovi bioturbacija, intraklasta i stilolitski šav (dolje).

6.1.4. Uzorak iz sloja 9

Ovaj uzorak karakterističan je i makroskopski zbog velike količine žilica kalcita (slika 6.4). Boja je tamno siva do crna. Ovaj uzorak određen je kao vekston.

Mikroskopskim pregledom preparata uzorka iz sloja 9 pojavljuju se sitni fosili pučinskih organizama kalcisfera. Dominantno vezivo je mikrit procijenjeno oko 70% uzorka. Uzorak je ispresijecan dosta velikim brojem žilica koje su ispunjene kalcitom. Od minerala u uzorku su vidljiva zrna opakog minerala pirita.



Slika 6.4. Uzorak iz sloja 9 bogat kalcitom. Strelica na uzorku prikazuje orijentaciju uzorka prilikom uzimanja iz sloja (lijevo), te mikroskopski pregled uzorka bogatog kalcisferama (desno).

6.1.5. Uzorak iz sloja 10

Na uzorku siva boja varira od svijetlije do tamnije (slika 6.5). Uzorak je dosta ispresijecan žilicama kalcita, te jednom većom žilom debljine oko 4 mm. Pod lupom se zrna dosta dobro vide i može se reći da su i veličinom i učestalošću dosta homogena. Reakcija sa HCl-om ni na ovom uzorku nije izostala. I ovaj uzorak može se odrediti kao vekston.

Mikritna osnova kao i kod prethodnih uzoraka, prošarana velikim brojem kalcisfera, ostacima školjkaša i vidljivom laminacijom. Od minerala prisutna su zrna pirita. Pukotine ispunjene kalcitom nisu izostale niti u ovom sloju. Mikroskopskim pregledom preparata potvrđena je determinacija uzorka kao vekston.



Slika 6.5. Uzorak iz sloja 10 sa tragovima trošenja i kalcitnim žilama (gore), te mikroskopski prikaz na kojem su vidljive brojne kalcisfere i fragmenti bodljikaša(dolje).

6.1.6. Uzorak iz sloja 11

Sloj označen rednim brojem 11 je očito nešto trošniji nego slojevi ispod i iznad njega (slika 6.6) jer se lako razlomio na nekoliko manjih fragmenata. Uzorak je tamniji nego prethodni uzorak, sa manjim udjelom kalcitnih žila, ali i dalje vidljivim. Također su po presjeku uzorka vidljivi tragovi trošenja u vidu žućkastog premaza. Reakcija sa klorovodičnom kiselinom je postojana. Veličina zrna je nešto sitnija nego u prethodnim uzorcima i moglo bi se reći da se radi o vekstonu.

Od fosilnih ostataka u uzorku iz sloja 11, vidljive su tek brojne bioturbacije koje su naknadno zapunjene, te poneki fragment školjkaša. Dominantno vezivo je mikrit od kojega je sastavljen veći dio uzorka. Prema udjelu kalcita kojim su zapunjene pukotine, te manjem broju klasta, može se zaključiti da se radi o nešto plicem okolišu taloženja. Uzorak bi bio determiniran kao vekston.



Slika 6.6. Veći broj dijelova uzorka iz sloja 11 (gore), te kalcisfere i bioturbacije u mikritu (dolje).

6.1.7. Uzorak iz sloja 13

Na slici 6.7 prikazan je homogen, ali dosta trošan uzorak uzet iz sloja 13. Uzorak je tamno sive do crne boje. Uzorak je determiniran kao vekston.

Mikropetrografske karakteristike uzorka 13 najviše podsjećaju na one iz uzorka sloja 3. U mikritnoj osnovi prisutni su mnogobrojni ostaci alokema od čega prednjače bodljikaši. Ima i intraklasta različitih dimenzija. Uzorak je puknuo, a žile su ispunjene uglavnom kalcitom. Od minerala u uzorku su vidljivi kvarc, u obliku kvarcnog detritusa, te poneko zrno pirita. Uzorak je determiniran kao vekston.



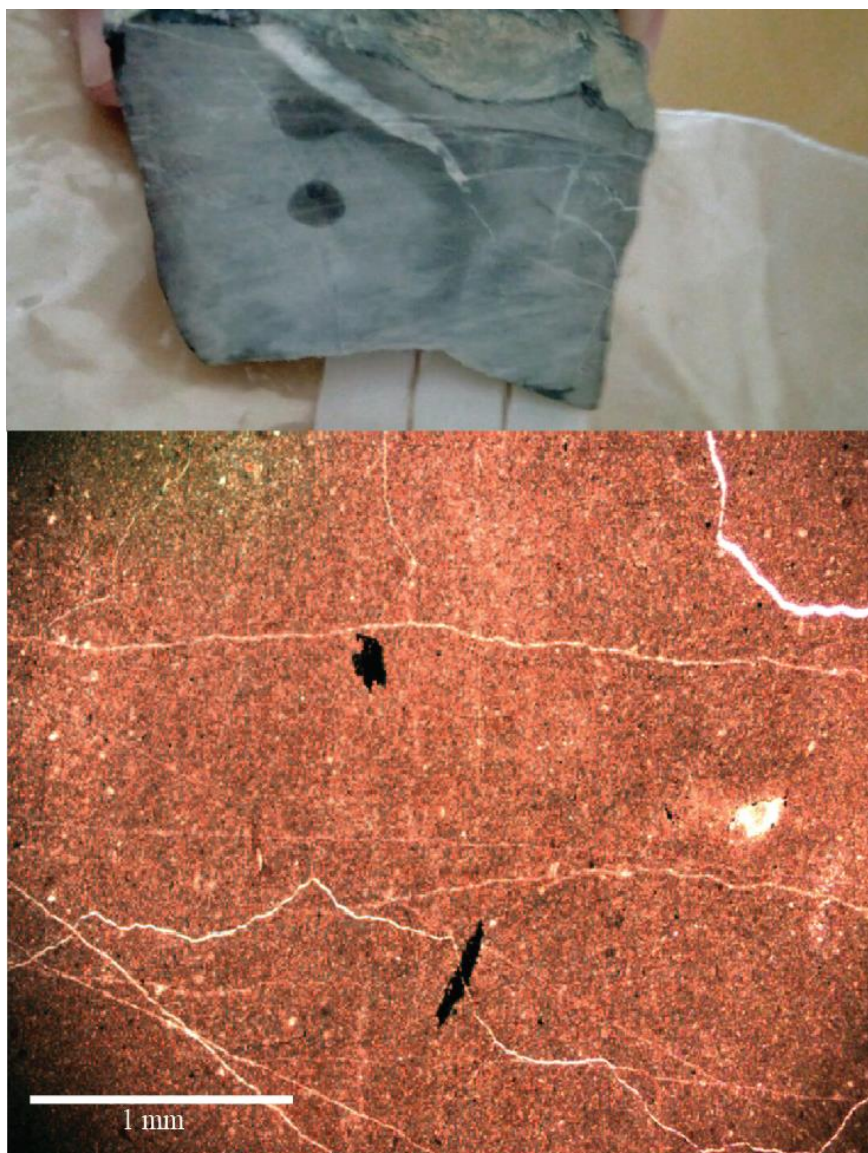
Slika 6.7. Uzorak iz sloja 13 makroskopski uzorak (gore), te veliki broj raznih alokema u mikroskopskom preparatu (dolje).

6.1.8. Uzorak iz sloja 15

Uzorak je tamno sive boje i homogene strukture. Broj kalcitnih žila na ovom uzorku je nešto manji, ali su dosta duge i protežu se preko čitavog uzorka, koje burnije reagiraju u dodiru

sa HCl-om nego ostatak uzorka, gdje je reakcija također prisutna (slika 6.8). Uzorak bi determinirali kao madston.

U mikropetrografskom sastavu prevladava homogeni mikrit procijenjeno preko 85%. U uzorku su također vidljivi krupni kristali pirita, te pukotine ispunjene kalcitom. Stijena je određena kao madston.



Slika 6.8. Nešto veće žile kalcita vidljive na brušenom dijelu uzorka (gore), madston sa zrnima pirita, vidljiv u mikroskopskom preparatu (dolje).

6.1.9. Uzorak iz sloja 17

Boja ovog uzorka je kao i kod ostalih siva do crna (slika 6.9). Uzorak je dosta raspucan a pukotine su ispunjene kalcitom bijele boje. Lom je nepravilan. Uzorak je determiniran kao vekston / pekston.

U ovom uzorku, mnogo više je većih zrna i fosilnih ostataka od kojih prevladavaju fosilni ostaci vapnenačkih spužvi, bodljikaši te kalcisfere (slika 6.9). Dominantno vezivo je mikrit iako je udio većih zrna nešto veći no u prethodnom uzorku. Prema mikropetrografskim karakteristikama ovog preparata, može se zaključiti da se radi o nešto plićem okolišu taloženja sa većom aktivnošću organizama. Uzorak je determiniran kao vekston.



Slika 6.9. Uzorak iz sloja 17 s kalcitnim žilama i znakovima trošenja (gore), mikroskopski preparat na kojem su vidljivi fosilni ostaci vapnenačkih spužvi (dolje).

6.1.10. Uzorak iz sloja 23

Jedan od tamnijih uzoraka uzet je iz sloja pod rednim brojem 23 (slika 6.10). Tamno siva površina uzorka prošarana je s ponekom svjetlijom žilicom kalcita. Stijena je homogena, a radi se o madstonu.

Dominantno je sastavljen od karbonatnog mulja - mikrita. Mikrit je homogen i gust, dok su samo mjestimično vidljiva nešto veća zrna, moguće sitni intraklasti ili peloidi. Uzorak je nešto lošije izrade pa je vidljiv veći broj pukotina nastalih prilikom izrade preparata. Uzorak iz sloja 23 u mikroskopskom preparatu određen je kao madston.



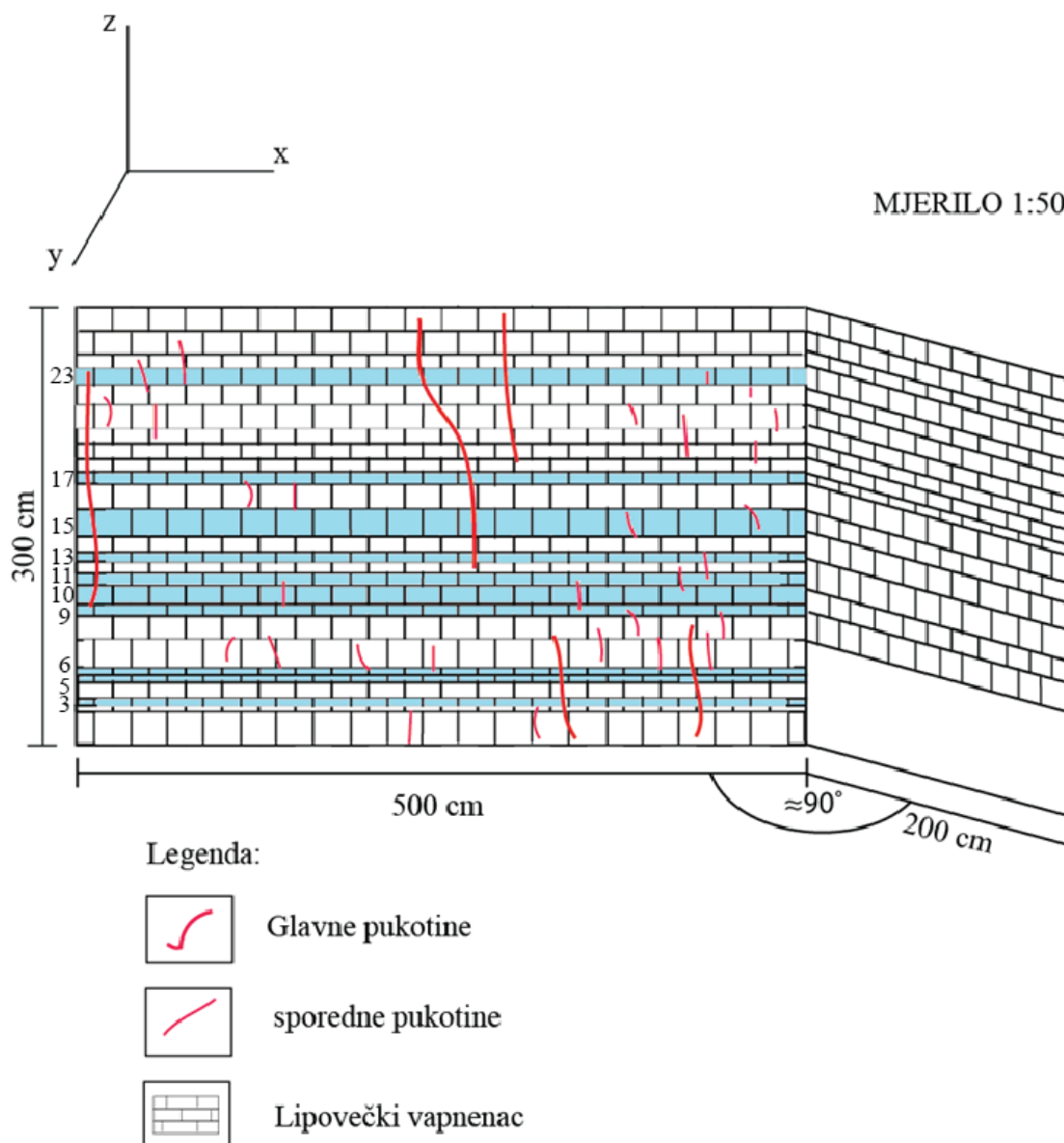
Slika 6.10. Uzorak iz sloja 23 sa trošnom površinom (gore) i mikrit vidljiv mikroskopskim pregledom uzorka (dolje).

6.2. Izračun iskoristivosti ili cjelovitosti stijenske mase na primjeru ležišta

Na primjeru ležišta izračunati su koeficijenti cjelovitosti stijenske mase, točnije linearni, površinski i volumni koeficijent cjelovitosti. Za ulazne podatke korištena je otvorena otkopna fronta visine 3 m (slika 6.11), te gornja slojna ploha na površinskom dijelu kamenoloma dimenzija oko 5 m širine i 6 m dužine, a ukupne površine od oko 30 m² (slika 6.13). Prema slici 6.11 izrađena je skica otkopne fronte u mjerilu 1:50 na kojoj su prikazani sustavi pukotina, kako glavnih, tako i sporednih, te idealizirane debljine slojeva (slika 6.12). Plavom bojom su označeni slojevi iz kojih su uzeti uzorci za laboratorijski rad. Prema kartezijevom koordinatnom sustavu, visina od 3 m bi odgovarala osi „z“ u koordinatnom sustavu, a površinske mjere bi odgovarale osima „x“ i „y“. Na osnovu tih podataka izračunao se linearni koeficijent cjelovitosti u sva tri smjera, površinski koeficijent cjelovitosti i volumni koeficijent cjelovitosti.



Slika 6.11. Otkopna fronta upotrijebljena u svrhe izračuna osi „z“.



Slika 6.12. Skica otkopne fronte u mjerilu 1:50. Plavo obojani slojevi su slojevi iz kojih su uzeti uzorci za mineraloško-petrografsku analizu.

6.2.1. Linearni koeficijent cjelovitosti

Linearni koeficijent cjelovitosti ili iskoristivosti procijenjeni su, u spomenutom dijelu ležišta odnosno kamenoloma i izračunati na sličan način kao i kod korištenja tri istražne bušotine orijentirane približno okomito na tri sustava diskontinuiteta. U ovom slučaju to se odnosi na dva sustava pukotina i slojevitost. Linearni koeficijent cjelovitosti duž osi „z“ odnosno okomito na slojevitost za komade debljine 3-20 cm izračunat je prema formuli 4-1 (poglavlje 4.2).

Ulazni podaci za debljine slojeva prikazani su u tablici 6.1. Izmjerene su debljine ukupno za 26 slojeva, a ukupna debljina istraživanog intervala (L) iznosi 300 cm. Dužina cjelovitih intervala (l) ukupno iznosi 260 cm. Linearni koeficijent $Klcj.(z)$ koji je okomit na slojevitost prema izračunu iznosi 86,66%.

Tablica 6.1. Izmjerene debljine slojeva u slijedu debelom 3 m.

Sloj	Debljina sloja (cm)	Sloj	Debljina sloja (cm)	Sloj	Debljina sloja (cm)
1	20	10	14	19	8
2	3	11	7	20	10
3	5	12	8	21	12
4	11	13	6	22	10
5	5	14	11	23	7
6	7	15	17	24	6
7	19	16	18	25	8
8	16	17	7	26	10
9	8	18	7	Ukupno	260

$$Klcj.(z) = \frac{\sum l}{L} \times 100 (\%)$$

$$Klcj.(z) = \frac{20+3+5+11+5+\dots+10+7+6+8+10}{300} \times 100 =$$

$$Klcj.(z) = \frac{260}{300} \times 100 = 0,86666 \times 100 =$$

$$\underline{\underline{Klcj.(z) = 86,66 \%}}$$

(6-1)

Prema istoj formuli 4-1 izračunat je linearni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti po osi „x“ odnosno planparalelno s pukotinama. U tablici 6.2. prikazani su rezultati terenskih mjerenja dužine ploča na površinskom dijelu ležišta. Prema onome što se vidi na terenu, zaključeno je da se radi o jednoj kontinuiranoj ploči koja je ispresijecana nekolicinom sekundarnih pukotina debljine zijeve 4 do 5 cm. Mora se uzeti u obzir da dio ploča koje se nalaze u promjeru 10 cm od pukotina ne ulaze u izračun za iskoristivost zbog mogućih trošenja i oštećena rubnih dijelova ploča, kao ni komadi manji od 30 cm koji su iz ekonomskih razloga neisplativi.

Tablica 6.2. Rezultati mjerenja dužine ploče.

Komad ploče	Dužina ploče (cm)	Broj pukotina
1	282	2
2	170	
3	100	

$$Klcj.(x) = \frac{\sum l}{L} \times 100 (\%)$$

$$Klcj.(x) = \frac{282+170+100}{600} \times 100 =$$

$$Klcj.(x) = \frac{552}{600} = 0,92 \times 100 =$$

$$\underline{\underline{Klcj.(x) = 92\%}}$$

(6-2)

Treći linearni koeficijent cjelovitosti je izračunat za širinu ploča, te odgovaraju osi „y“ gledajući kartezijev koordinatni sustav što je okomito na pukotine. U tablici 6.3. prikazani su rezultati dobiveni terenskim mjerenjem. I u ovom izračunu vrijede ista pravila kao i u prethodnom.

Tablica 6.3. Rezultati terenskih mjerenja za širinu ploča.

Komad ploče	Širina ploče (cm)	Broj pukotina
1	53	3
2	80	
3	180	
4	115	

$$Klcj. (y) = \frac{\sum l}{L} \times 100 (\%)$$

$$Klcj. (y) = \frac{53 + 80 + 180 + 115}{500} \times 100 =$$

$$Klcj. (y) = \frac{428}{500} = 0,8560 \times 100 =$$

$$\underline{\underline{Klcj. (y) = 85,60\%}}$$

(6-3)

Linearni koeficijent iskoristivosti (cjelovitosti) stijenske mase za os „x“ iznosi 92%, za os „z“ je nešto manji i iznos 86,66%, a za os „y“ je najmanja i iznosi 85,60%. Kombinacijom ova tri linearna koeficijenta može se izračunati volumni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti ležišta Gunčić (poglavlje 6.2.3).

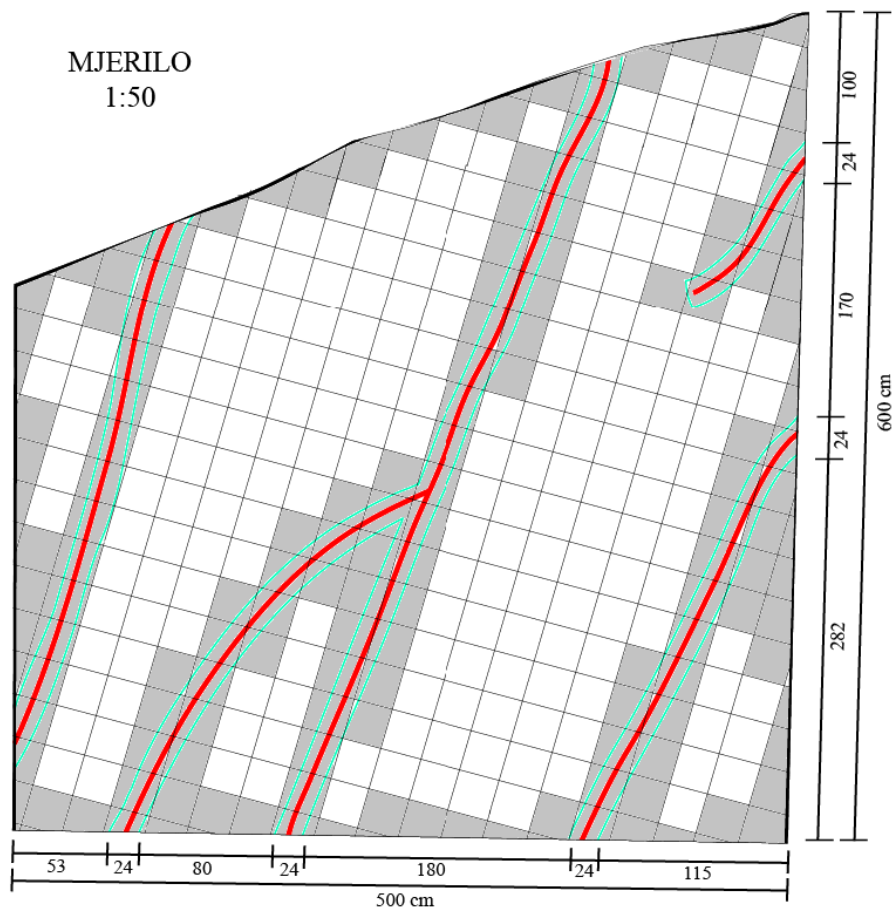
6.2.2. Površinski koeficijent cjelovitosti

Za izračun površinskog koeficijenta (cjelovitosti) iskoristivosti rađena je skica glavnih i manjih sustava pukotina i njihov položaj u odnosu na otkopne fronte sa pogledom iz tlocrta (slika 6.14). Na skici se vide sustavi pukotina označeni crvenom bojom, a koji su nastali učestalom tektonskom aktivnošću na ovom području koji dijele ploče na nekoliko dijelova. Pukotine su zijeva od 4 do 5 cm. Zelenkastom bojom na skici je označena udaljenost koju je potrebno uzeti u obzir prilikom izračuna, zbog mogućih trošenja ploča u tim zonama. Udaljenost iznosi 10 cm. Na skici je također prikazana „mreža“ ploča dimenzija 30x30 cm, postavljena paralelno s pukotinama kako bi njena efikasnost i iskoristivost bila što veća. Sivom bojom označene su ploče koje su neiskoristive, kako zbog toga što se nalaze na pukotinama, ili

nisu cjelovite. Bijelom bojom na slici su označene ploče koje su u potpunosti zdrave te ih ima točno 200. Skica je izrađena u mjerilu 1:50, na temelju terenskih mjerenja na otvorenoj gornjoj slojnoj plohi (slika 6.13). Za izračun površinskog koeficijenta cjelovitosti upotrijebljene su ploče dimenzija 30x30 cm.



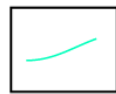
Slika 6.13. Površinski dio kamenoloma korišten za izračun osi „x“ i „y“.



Legenda:



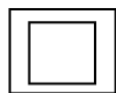
pukotine



distanca iskoristivosti



neiskoristive ploče



iskoristive ploče

Slika 6.14. Tlocrt otvorene gornje slojne plohe na površini izdanka (ploče su površina 30x30 cm).

Površinski koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti izračunat je prema formuli 4-2 (poglavlje 4.2).

$$Kpcj. = \frac{\Sigma(vxs)}{P} \times 100 (\%)$$

$$Kpcj. = \frac{200 \times (30 \times 30)}{210\,000 + 45\,000} \times 100 =$$

$$Kpcj. = \frac{180\,000}{255\,000} = 0,7058 \times 100$$

$$\underline{\underline{Kpcj. = 70,58 \%}}$$

(6-4)

Površinski koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti može se izračunati i kombinacijom dva od tri linearna koeficijenta cjelovitosti. Tako se može dobiti još tri različita izračuna za površinski koeficijent cjelovitosti, a računa se prema formulama:

$$Kpcj. (1) = Klcj. (x) \times Klcj. (y) \quad (6-5)$$

$$Kpcj. (2) = Klcj. (x) \times Klcj. (z) \quad (6-6)$$

$$Kpcj. (3) = Klcj. (y) \times Klcj. (z). \quad (6-7)$$

$$Kpcj. (1) = 0,92 \times 0,856$$

$$Kpcj. (1) = 0,7875$$

$$\underline{\underline{Kpcj. (1) = 78,75\%}}$$

$$Kpcj. (2) = 0,92 \times 0,8666$$

$$Kpcj. (2) = 0,7972$$

$$\underline{\underline{Kpcj. (2) = 79,72\%}}$$

$$Kpcj. (3) = 0,856 \times 0,8666$$

$$Kpcj. (3) = 0,7418$$

$$\underline{\underline{Kpcj. (3) = 74,18\%}}$$

Prema izrađenim izračunima (6-4) do (6-7) dobiveni su različiti rezultati površinskog koeficijenta iskoristivosti. Prema formuli za izračun površinskog koeficijenta cjelovitosti stijenske mase, iskoristivost iznosi 70,58 %. Površinski koeficijenti cjelovitosti dobiveni umnoškom dvaju linearna koeficijenta su nešto veći te redom iznose 78,75% za umnoške linearnih koeficijenata paralelnog s pukotinama i okomitog na njih, 79,72 % za koeficijent dobiven umnoškom linearnog koeficijenta paralelnog s pukotinama i linearnog koeficijenta okomitog na slojevitost, te 74,18% za umnožak preostala dva linearna koeficijenta.

6.2.3. Volumni koeficijent cjelovitosti

Volumni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti može se izračunati na dva načina. U prvom primjeru volumni koeficijent cjelovitosti dobije se umnoškom triju linearnih koeficijenta, a u drugom umnoškom površinskog koeficijenta i na njega okomitog linearnog koeficijenta cjelovitosti.

Primjer 1: izračunavanje volumnog koeficijenta cjelovitosti pomoću tri linearna koeficijenta cjelovitosti, koji su prethodno izračunati u poglavlju 6.3.1. Linearni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase za os „x“ iznosi 92%, za os „z“ je nešto manji i iznosi 86,66%, a za os „y“ je najmanja i iznosi 85,60%.

$$Kvcj. = Klcj. (x) \times Klcj. (y) \times Klcj. (z) \times 100 (\%)$$

$$Kvcj. = 0,92 \times 0,856 \times 0,8666 \times 100 =$$

$$Kvcj. = 0,6825 \times 100$$

$$\mathbf{Kvcj. = 68,25 \%}$$

(6-8)

Primjer 2: izračunavanje volumnog koeficijenta (cjelovitosti) iskoristivosti pomoću površinskog koeficijenta cjelovitosti i na njega okomitog linearnog koeficijenta cjelovitosti. Površinski koeficijent cjelovitosti prethodno je izračunat u poglavlju 6.3.2. i iznosi 58,97%.

$$Kvcj. = Kpcj. \times Klcj. (z) \times 100 (\%)$$

$$Kvcj. = 0,7058 \times 0,8666 \times 100$$

$$Kvcj. = 0,6116 \times 100$$

$$\mathbf{Kvcj. = 61,16\%}$$

(6-9)

Iz koeficijenta cjelovitosti odnosno iskoristivosti izračunat je popravni koeficijent prema formuli:

$$\begin{aligned}x &= \frac{100 \times Kvcj.}{E} \\&= \frac{100 \times 0,6116}{94} = \frac{61,16}{94} \\&= \underline{\underline{0,6506}}\end{aligned}$$

(6-10)

gdje je : x – popravni koeficijent

E- eksploatacijski gubitak u iznosu od 6% koji je standardna veličina samo za ležišta u kojima se eksploatira Lipovečki vapnenac (elaborat TOMAŠIĆ & KUKINA, 2004).

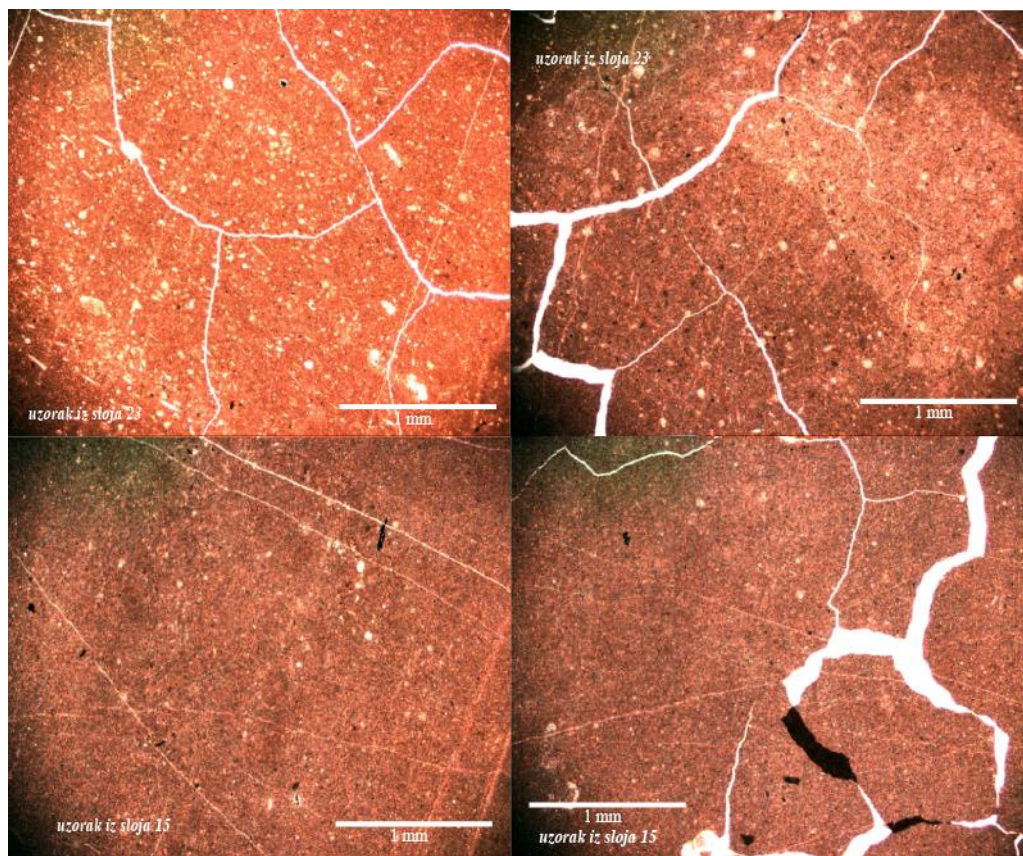
Prema slici 7.1. može se lijepo vidjeti izmjena ovih litotipova koja je, može se reći sekvencijska, što se ponajviše odražava na razinu morske vode koja se mijenjala u vremenu kada su taloženi ovi litotipovi, te promjene uvjeta okoliša u kojem su oni taloženi. Način taloženja i njihov sastav su veoma bitni za sama fizičko-mehanička i kemijska svojstva stijene, koja su važno mjerilo za kvalitetu prirodnog kamena.

Prema slijedu sedimenata, njihovoj debljini i učestalosti može se zaključiti da je taložni okoliš vjerojatno bio marinski priobalni do grebenski okoliš odnosno subtajdal.

7.1.1 Madston

Madston je prema definiciji vapnenac sastavljen od karbonatnog mulja i manje od 10% zrna promjera između 0,03 i 2 mm (TIŠLJAR, 2001). Budući da se radi o homogenom, veoma sitnom i gustom sedimentu, pretpostavlja se da se njegovo taloženje odvija u mirnim uvjetima. U slučaju kao što je ovaj koji nalazimo u ležištu Gunčić može se zaključiti da se taloženje madstonskih varijeteta slojeva vapnenaca događala u mirnom marinskom okolišu. Prisustvo kalcisfera – pučinskih organizama u uzorcima uzetim iz slojeva 9, 10 i 17 ukazuje na taloženje u dubljem pelagičkom taložnom okolišu.

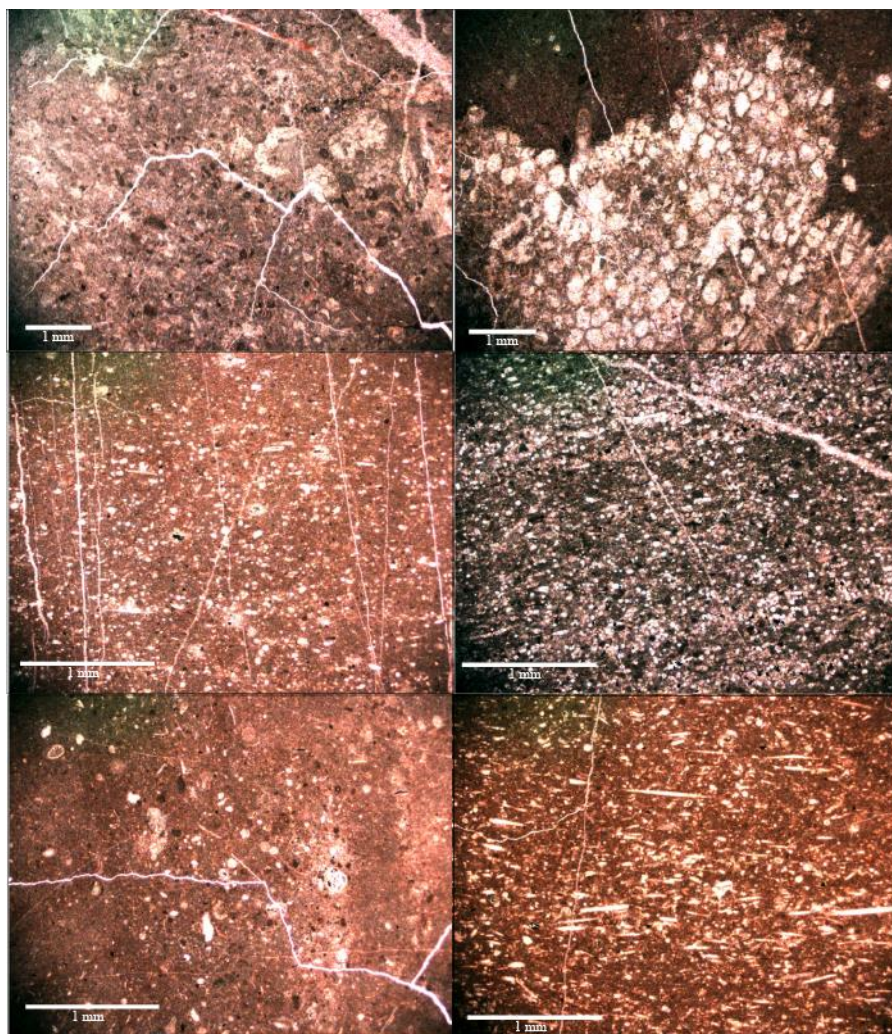
Madston u ispitanom intervalu pojavljuje se u dva sloja, sloju 15 i sloju 23. Prema tome bi se dalo zaključiti da je razina morske vode na ovom prostoru u to vrijeme bila na najvišoj razini. Na slici 7.2. prikazana su četiri primjera madstona (po 2 iz svakog sloja).



Slika 7.2. Primjeri madstona iz slojeva 15 i 23.

7.1.2. Vekston

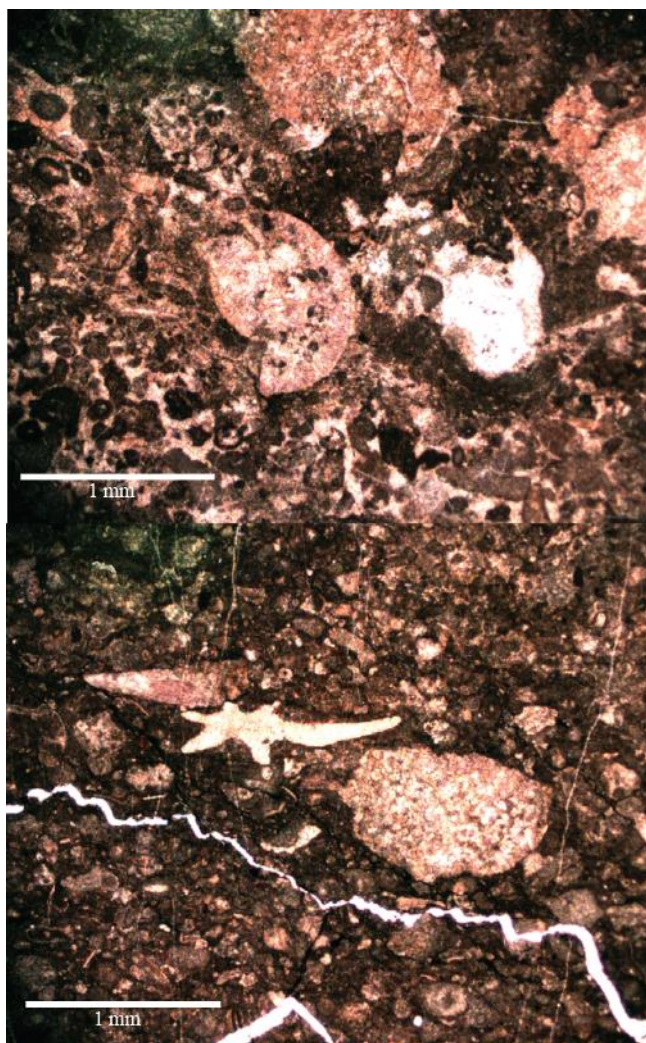
Vekston vapnenac je pretežito sastavljen od karbonatnog mulja i od 10 do 50% zrna koja plivaju u mulju. Potpora je muljevita, a ne zrska (TIŠLJAR, 2001). Za razliku od dva sloja u kojima je određen madston, na vekston otpada najveći broj slojeva iz kojih su uzet uzorci, čak njih 7. Prema tome se može zaključiti da su se ovakvi uvjeti za vrijeme taloženja održali jedan duži period u srednjem trijasu. Udio zrna i fosilnih ostataka raste, javljaju se vapnenačke spužve, ljuštore bodljikaša i mahovnjaci, te bi takav okoliš najvjerojatnije odgovarao plićem facijesnom pojasu moguće otvorenih platformi s lagunama, zaljevima i plićacima s jakom cirkulacijom vode i stalnom komunikacijom s otvorenim morem. Na slici 7.3. prikazano je nekoliko mikrofotografija iz slojeva koji su određeni kao vekston.



Slika 7.3. Primjeri vekstona iz slojeva 5,6,9,10,11, 13 i 17.

7.1.3 Pekston

Vapnenac tipa pekston sastoji se od zrna koja imaju zrnску potporu, tj. međusobno se dodiruju i podupiru, i od karbonatnog mulja u intergranularnim porama (TIŠLJAR, 2001). Sastav ovog uzoraka ukazuje na okoliš sa najvećom energijom vode, vjerojatno time i najbliži od sva tri, otpada samo jedan od deset interpretiranih slojeva. Viša energija vode najvjerojatnije je uvjetovala donos različitih organizama iz susjednih zona, a veća količina svjetlosti pogodovala je razvoju raznolike flore i faune od kojih se može izdvojiti pojava brahiopoda, a raste i udio intraklasta. Pekston je uglavnom taložen u sličnim facijesnim pojasevima kao i vekston, ili eventualno njemu susjednih. Npr facijesni pojas padina ili oganogeni grebeni čest su facijesni pojas u kojim se mogu javiti pekstoni. Na slici 7.4. prikazane su mikrofotografije pekstona odnosno sloja 3.



Slika 7.4. Primjer pekstona iz kamenoloma Gunčić iz sloja 3.

Nakon određenih litotipova i uvjeta te vremena taloženja, može se zaključiti kako njihove promjene ne utječu previše na samu kvalitetu stijena kada ih gledamo sa staništa tehničke petrografije kao prirodni kamen. Malen udio fosilne flore i faune koja ne mogu podići dekorativni kriterij kamena, velika gustoća i malena zrna, ne razlikuju se previše iz sloja u sloj. Zapravo osim za dekorativni kriterij, promjena litotipova kroz slojeve ne može promijeniti niti jedan od 5 glavnih kriterija za vrednovanje prirodnog kamena. Te ne može utjecati i na samu iskoristivost (cjelovitost) u ležištu u obliku ploča. Ostaje zaključak kako je ovaj kamen pogodan i za vanjsku i za unutarnju upotrebu, iako pri eksterijernoj upotrebi treba navesti kako s vremenom gubi boju, te ga se u svakih 40 do 50 godina treba obraditi zbog polaganog površinskog trošenja.

7.1. Koeficijenti iskoristivosti stijenske mase i kvalitete Lipovečkog vapnenca u kamenolomu Gunčić

Nakon terenskih mjerenja i laboratorijskih istraživanja, te odrađenih izračuna, došlo se do određenih podataka, odnosno rezultata o iskoristivosti samog ležišta. Određena su tri linearna koeficijenta cjelovitosti stijenske mase, četiri površinska, te dva volumna koeficijenta.

7.2.1. Linearni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase

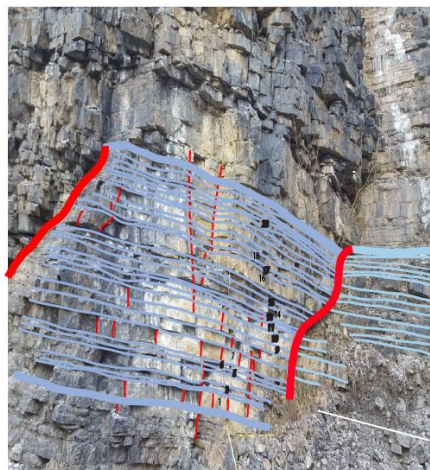
Do linearnih koeficijenata cjelovitosti stijenske mase došlo se preko prikupljenih podataka o debljinama slojeva i broju slojeva na otkopnoj fronti kamenoloma za jedan smjer, te otkrivenoj gornjoj slojnoj plohi na površini izdanka, za preostala dva smjera. Smjerovi su određeni prema sustavu diskontinuiteta koji su međusobno gotovo okomiti, te prema njima uklopljeni u kartezijev koordinatni sustav. Os „z“ u kartezijevom koordinatnom sustavu odgovara smjeru okomitom na slojevitost, os „y“ odgovara smjeru paralelnom s pukotinama, te os „x“ smjeru okomitom na sustav pukotina. Položaj slojeva na terenu koji je gotovo horizontalan i iznosi 130/7, uvelike je olakšao izračun.

Za os „z“, uzet je interval od 300 cm, od kojih 260 cm otpada na ukupnu debljinu slojeva, iz čega je vidljivo da je prosječna debljina sloja Lipovečkog vapnenca oko 10 cm. Ostatak otpada na trošne zone između slojeva. Prema podacima iz tablice 6.1 (poglavlje 6.2.1) konstruiran je histogram (slika 7.7) učestalosti pojedinih debljina u intervalu od 300 cm.

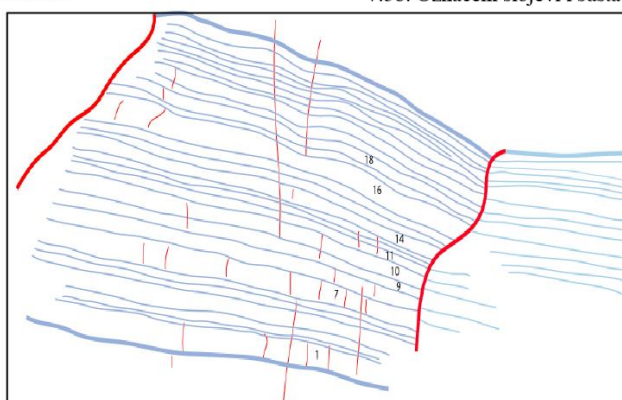
Na slici 7.5. prikazan je proces izrade skice idealiziranih slojeva pločastog vapnenca na otkopnoj fronti u kamenolomu Gunčić izrađene u programu Adobe Illustrator CS6. Na skici je vidljiva izmjena debljina slojeva. Kako bi se došlo do skice, prvo su na slici izdanka označeni glavni diskontinuiteti, pukotine i slojevitosti (slika 7.5b), zatim je uklonjena slika te je ostala samo skica diskontinuiteta (slika 7.5c). Prema izmjerenim debljinama slojeva, te njihovom položaju izrađena je idealizirana skica (slika 7.5d).



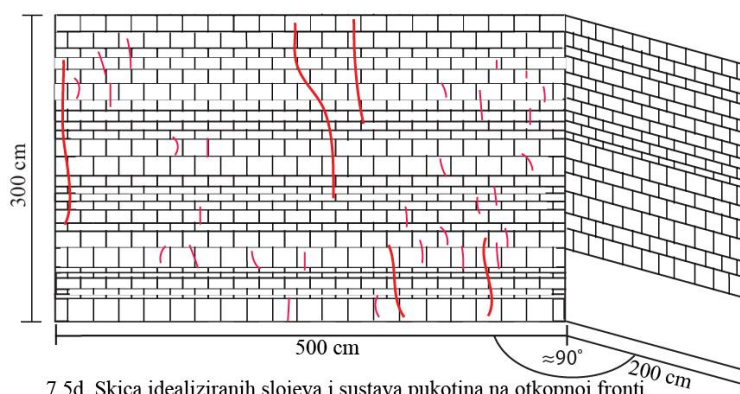
7.5a. Otkopna fronta



7.5b. Označeni slojevi i sustavi pukotina



7.5c. Skica označenih slojeva i sustava pukotina



7.5d. Skica idealiziranih slojeva i sustava pukotina na otkopnoj fronti

Slika 7.5. Proces konstruiranja skice idealiziranih slojeva na izdanku u kamenolomu Gunčić.

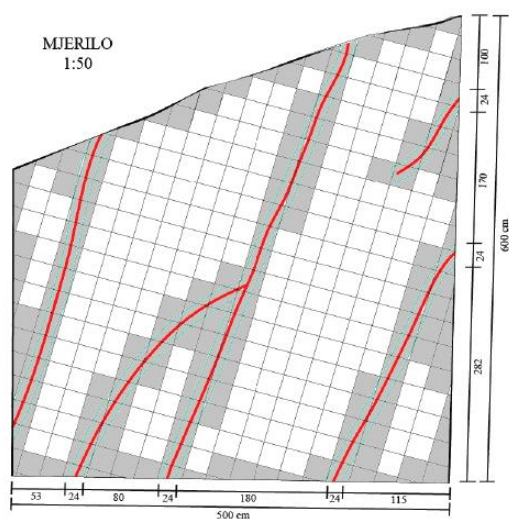
Nakon prikupljanja podataka za os „z“, nastavilo se sa prikupljanjem podataka za osi „x“ i „y“. Bilo je potrebno pronaći adekvatnu slojnu plohu, nešto većih dimenzija te ju obraditi i na osnovu nje prikupiti podatke. Površina određene slojne plohe iznosi približno 25 m^2 , a za točnije izračune u programu Adobe Illustrator CS6 izrađena je idealizirana skica (tlocrt), na osnovu koje su dobiveni rezultati. Proces izrade skice je jednak kao i u prethodnom primjeru (slika 7.6).







Slika 7.6a Gornja slojna ploha na površini



Slika 7.6b. Označene pukotine i konture površine



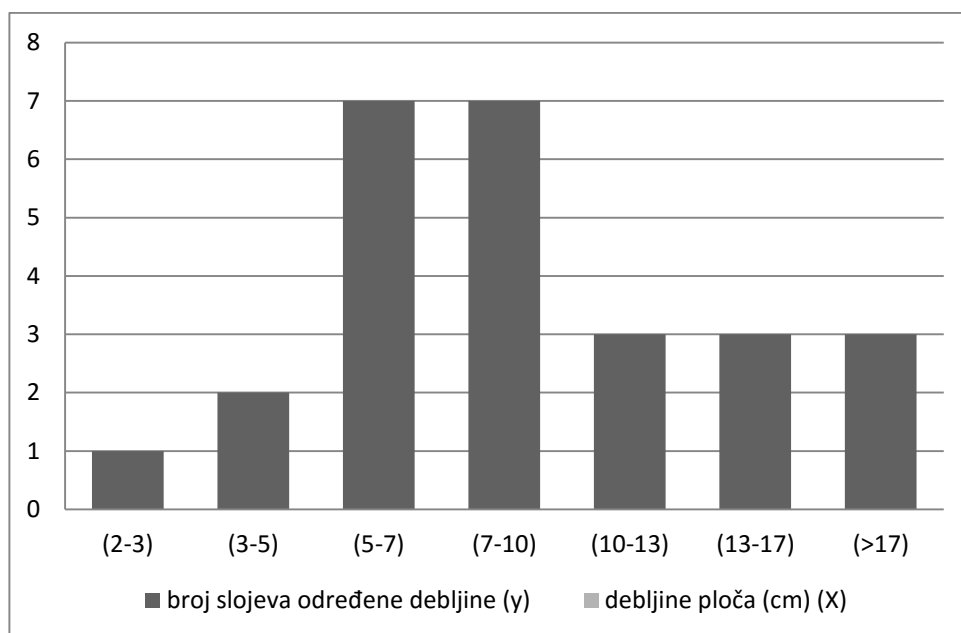
Legenda:

-  pukotine
-  distanca iskoristivosti
-  neiskoristive ploče
-  iskoristive ploče

Slika 7.6c. Idealizirani prikaz površine iz tlocrta

Slika 7.6. Proces izrade skice idealizirane površine izdanka.

Os „x“ koja u prirodi odgovara osi paralelnoj s pukotinama, ukupne je dužine od 600 cm, a na nekorisne dijelove otpada ukupno 48 cm. Dok je os „y“ u prirodi predstavljena kao okomita na sustav pukotina i iznosi 500 cm, od čega na nekorisne dijelove otpada 72 cm.



Slika 7.7. Učestalost pojedinih debljina ploča unutar intervala od 3 m, na zamišljenoj osi „z“.

Nakon svih prikupljenih podataka, pristupilo se izračunu linearnih koeficijenata cjelovitosti stijenske mase (poglavlje 6.2.1). Dobiveni podaci su sljedeći:

$$\text{Klcj.}(x) = 92 \%$$

$$\text{Klcj.}(y) = 85,60 \%$$

$$\text{Klcj.}(z) = 86,66 \%$$

Prema svim skicama i dobivenim rezultatima može se zaključiti da je koeficijent veći što je nepravilnosti odnosno diskontinuiteta manje ili bolje rečeno što je ukupni zbroj nepravilnosti izražen u cm manji. Najveći koeficijent od 92 %, dobiven je na osi koja je najmanje ispresječena pukotinama, što je u skladu sa zaključkom, nadalje, koeficijent na osi „z“ koja ima mnogo veći broj diskontinuiteta (slojevi) je veći, nego koeficijent dobiven na osi „y“ sa manjim brojem pukotina. Iz toga bi se moglo zaključiti da se ploče Lipovečkog vapnenca manje troše na dodirima slojeva nego što je to slučaj na mjestu pukotina. I taj podatak se poklapa sa prije navedenim zaključkom. Ukupna debljina nečistoća kod osi „z“ većim djelom otpada na glinene i laporovite proslojke koji su veoma tanki i nalaze se između slojeva vapnenaca, točnije rečeno, ovi proslojci imaju funkciju „veziva“ za slojeva vapnenca. Lakše ih je ukloniti i manje utječu na fizičko-mehanička svojstva stijene te se shodno tome, na njima se ne moraju određivati distance za iskoristivost kao što je to slučaj kod pukotina.

Prema ovim rezultatima, kada bi idealizirali ležište, dobili bi jako dobro očuvane slojeve koji su utjecajem tektonske aktivnosti na ovim prostorima mjestimično ispresijecani pukotinama.

Rezultati dobiveni daljnjim izračunima dat će realniju sliku iskoristivosti ovog ležišta nego što je to primjer kod izračuna linearnih koeficijenata cjelovitosti.

7.2.2. Površinski koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase

Podaci prikupljeni u prethodnom poglavlju korišteni su i za izračun površinskog koeficijenta cjelovitosti. Ulazni podaci za ove izračune određeni su s površine gornje slojne plohe, a to su dimenzije ploča, sustavi pukotina te debljine pukotina.

Izračun površinskog koeficijenta cjelovitosti nešto je kompliciraniji nego linearni. Površina koja je uzeta na terenu nikad nije idealnog oblika, ni dimenzije. Takav slučaj vidljiv je i u ovom primjeru. Zbog toga je jako bitno nepravilnu površinu, što preciznije aproksimirati s oblicima kod kojih je izračun površine jednostavan, kao što su pravokutni trokut, pravokutnik, kvadrat i sl. U našem slučaju površina je aproksimirana sa dva jednostavna oblika, pravokutnikom dimenzija 400x500 cm, te pravokutnim trokutom čije katete iznose 500 cm i 200 cm. Jednostavnim izračunima površina ova dva oblika, te njihovim zbrojem dobivena je ukupna površina izdanka koji je korišten u izračunu za površinski koeficijent cjelovitosti.

Sljedeća bitna stavka za lakši izračun je, na osnovu diskontinuiteta, postaviti pravilnu „mrežu ploča“ tako da prema njima dobijemo najveću moguću iskoristivost, a ujedno mora biti postavljena tako da je što jednostavnija za eksploataciju i daljnju obradu ploča. Dimenzije ploča za ovo ležište preuzete su iz elaborata i iznose 30x30 cm. Broj ploča umnožen za njihovim dimenzijama, daje nam ukupnu iskoristivu površinu sloja.

Za dobivanje rezultata površinskog koeficijenta cjelovitosti potrebno je samo podijeliti ukupnu iskoristivu površinu, sa cjelokupnom površinom. Na taj način dobiven je rezultat za površinski koeficijent cjelovitosti od 70,58%.

Na jednostavniji način dobiveni su ostali rezultati površinskog koeficijenta cjelovitosti. Jednostavnim umnoškom dvaju od tri linearna koeficijenta dobit ćemo još tri nova rezultata koji redom iznose 79,72%, 78,75% te 74,18%.

Kao što se vidi iz rezultata, što je više ulaznih podataka to je koeficijent cjelovitosti manji, ali prema tome i točniji. Za razliku od samih linearnih koeficijenata, iskoristivost uvođenjem još jedne dimenzije se smanjila za približno 10%.

7.2.3. Volumni koeficijent (cjelovitosti) iskoristivosti stijenske mase

Kako je već prije rečeno, volumni koeficijent izračunat je na dva načina, a za izračun su se koristili podaci prikupljeni na terenu, a dobiveni rezultati su sljedeći:

$$\mathbf{\underline{K_{vcj.} = 68,25 \, \%}}$$

$$\mathbf{\underline{K_{vcj.} = 61,16\%}}$$

Pregledom rezultata još jednom se može zaključiti kako količina ulaznih podataka znatno utječe na promjenu koeficijenta cjelovitosti, tako je umnoškom tri linearna koeficijenta cjelovitosti dobiven volumni koeficijent koji iznosi 68,25 %, dok je umnoškom površinskog i na njega okomitog linearnog koeficijenta on opao za više od 7 %, te iznosi 61,16%. Zbog količine ulaznih podataka zaključeno je da je onaj rezultat sa najvećim brojem podataka i najtočniji.

8. Zaključak

Glavni cilj rada bio je procijeniti iskoristivost ležišta Gunčić, prilikom eksploatacije tankih ploča Lipovečkog vapnenca. Korišteni su podaci iz ležišta prikupljeni tokom terenskog rada, a na osnovu kojih su izrađene detaljne skice, te izračuni za procjenu iskoristivosti stijenske mase.

Prema izračunima koeficijenta iskoristivosti (cjelovitosti) stijenske mase, može se zaključiti kako se veliki dio kamenoloma može u potpunosti iskoristiti. Prema izračunima linearnih koeficijenta cjelovitosti, iskoristivost varira između 85 i 90%, što je fantastično, ali nije realno. Mnogo realniji rezultati dobiveni su kada se računao površinski koeficijent cjelovitosti čiji su rezultati iznosili od 70 do 80%. Prema dobivenim rezultatima, prilikom uvođena dimenzije više, iskoristivost proporcionalno opada. Tome svjedoče i rezultati volumnih koeficijenta cjelovitosti koji se kreću između 60 i 70%.

Prilikom istraživanja, kako terenskog tako i laboratorijskog, vodilo se računa i o mineraloško-petrografskim karakteristikama stijenske mase. Uočeno je da se ove stijene, bituminozni vapnenci taloženi za vrijeme srednjeg trijasa, odlikuju jako velikim udjelom organske materije, čemu svjedoči njihova crna boja i sastav fosila uočenih prilikom mikroskopske analize. Također na osnovu mikroskopskih analiza determinirana su tri litotipa vapnenaca i to madston (M), vekston (V) i pekston (P) te se zaključilo da su ovi vapnenci taloženi u mirnim marinskim okolišima sa niskom do srednjom energijom kretanja mora.

Svi dobiveni podaci utječu na karakteristike i svojstva Lipovečkog kamena, te se on po njima odlikuje velikom gustoćom, malom do gotovo nikakvom poroznošću, ali i malom otpornošću na površinsko trošenje i utjecaj atmosferilija te se preporuča upotreba Lipovečkog kamena u interijeru a ne u eksterijeru. Treba naglasiti da razlika u litotipovima nema utjecaj na iskoristivost stijenske mase u ležištu u obliku ploča.

Što se tiče samog kamenoloma, osim po izračunima, zaključilo se da je iskoristivost mogla biti još veća nego što je ona u današnje vrijeme, samom promjenom tehnike ali i tehnologije vađenja kamena. Naprednijim tehnologijama bi se uvelike mogao smanjiti postotak beskorisnih dijelova ploča, ali bi to s ekonomske strane značilo i nova moguća ulaganja i troškove.

9. Literatura

- BABIĆ, LJ., GUŠIĆ, I., KRISTYN, L., ŽUPANIČ, J., 1980. Starost i fosili Lipovec vapnenca (trijas) kod Samobora, zapadno od Zagreba. Geološki vjesnik 31, 21-35, Zagreb.
- CRNKOVIĆ, B., 1966. Ocjena homogenosti stijenske mase. Građevinar, XVIII/4, 155-162.
- DUNHAM J.B., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. U: Ham, W. E. (ur.): Classification of Carbonate Rocks. Am.Ass.petrof.Geol.Mem., 1,108-121.
- DUNDA, S., KUJUNDŽIĆ, T., GLOBAN, M., MATOŠIN, V., 2003. Digitalni udžbenik: Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb. Ministarstvo znanosti i tehnologije.
- EVAMY, B. D., SHERMAN, D. J., 1962. The application of chemical staining techniques to the study of diagenesis in limestones.-Proc. Geol. Soc. London, 1599, 102-103
- GRGASOVIĆ, T., 1998. Stratigrafija gornjotrijaskih naslaga Žumberka. Magistarski rad. Zagreb. Prirodoslovno-matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu.
- PEDIĆ, T., 2012. Mogućnost procjene i povećanja iskoristivosti benkovačkog prirodnog kamena u ležištu „Pridraga“. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, 53p
- PLENIČAR, M., PREMUR, U., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tomač za list Novo Mesto L33-79.- Geološki zavod Ljubljana (1970), Savezni geološki zavod, 61 p., Beograd.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Zagreb L38-80.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod, Beograd.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1979. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Zagreb L38-80.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod, Beograd, str. 6-16; 47-51.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O., 1975. Geološka zbivanja od paleozoika do kvartara u zapadnom dijelu zagrebačke regije. 2 godišnji znan. skup Sekcije za primj. geol., geofiz. i geokem. Zagreb. Znan. savjeta za naftu JAZU, str. 68 – 86.
- TIŠLJAR, J., 2001. Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, str. 375.
- TOMAŠIĆ, I., 1976. Ocjena cjelovitosti stijenske mase (ležište arhitektonsko-građevnog kamena Pećina kraj Vinice). Građevinar 11, 473-482, Zagreb.

- TOMAŠIĆ, I., 1982. Iskoristivost ležišta arhitektonskog kamena u ovisnosti od tektonskog sklopa i tehnologije eksploatacije. Rudarsko-metalurški zbornik 29, 332-342, Ljubljana.
- TOMAŠIĆ, I., 1994. The influence of discontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 6, 101-105.
- TOMAŠIĆ, I., 1999. Rezerve industrijske mineralne sirovine vapnenca i tehničkog građevnog kamena dolomita u ležištu „Lipovec“ kod Samobora.
- TOMAŠIĆ, I. & KUKINA, D. 2004. Elaborat: Rezerve arhitektonsko-građevnog kamena u istražnom prostoru Škrni Jarak II kod Samobora (Veliki Lipovec). Samobor.
- TOMAŠIĆ, I., 2004. Prirodni Lipovečki kamen. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 100-105.
- TOMAŠIĆ, I., 2006. Tehnička petrografija 1. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
- TOMAŠIĆ, I. & KRŠINIĆ, A., 2011. Some important facts for estimation of natural stone deposits during the exploitation. World of Marmomacchine, 46-53, Milano.
- TOMAŠIĆ, I. KRŠINIĆ, A., RADIĆ, S., VLAHOVIĆ, M. 2009. Istražno bušenje u svrhu vrednovanja prirodnog kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 66-76.
- TOMAŠIĆ, I., PEDIĆ, T. & MARIČIĆ, A., 2013. Procjena cjelovitosti i iskoristivosti benkovačkog pločastog kamena. Klesarstvo i graditeljstvo, 1-2, 33-45.

Internetski izvori:

URL: <https://www.google.hr/maps/> (20.05.2017)

URL: <https://goo.gl/images/SbJTP5> (21.06.2017.)

URL: <https://goo.gl/images/2xtmFb> (21.06.2017.)